

# انرژی خورشیدی، منبع انرژی ها و منجی زمین



انرژی، آب و غذا سه عنصر اصلی برای تضمین بقای انسان هستند که به هم وابسته هستند. مثلاً اگر انرژی کافی در اختیار داشته باشیم می‌توانیم آب و غذای بیشتر را هم تامین کنیم. از آنجا که هر ابزار و تکنولوژی برای انجام دادن هر نوع کاری به انرژی نیاز دارد، شناخت انرژی و انواع آن، استفاده و به کارگیری درست آن و تصمیم‌های درست در این حوزه ضروری می‌باشد. بر اساس تحلیل‌ها و داده‌های گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، انرژی خورشید تا سال 2027 از رتبه های آخر به رتبه اول به عنوان پرکاربردترین منبع تامین انرژی خواهد رسید. علاوه بر آن خورشید تقریباً منبع اصلی تامین اکثر انرژی‌های دیگر است که بررسی مفصل آن منجر به درک عمیق کاربردی‌تر برای توسعه فناوری‌های نوین می‌شود. در این فصل در ابتدا به صورت خلاصه انواع انرژی و طبقه‌بندی آن بررسی شده است. بعدها به ترتیب منابع اصلی پیدایش و تبدیل انرژی و انرژی خورشیدی به صورت مفصل توضیح داده شده است. در انتها ذخیره، انتقال و توضیع انرژی به صورت خلاصه توضیح داده شده است که قسمت‌های مهمی از فناوری‌های نوین را تشکیل می‌دهند.

## فهرست مطالب

1.....	فصل اول: انرژی.....	.1
8.....	1. انواع انرژی و منابع آن.....	1.1
9.....	1.1. انواع انرژی.....	1.1.1
21.....	1.1.2 منابع استخراج انرژی.....	1.1.2
40.....	1.2 طبقه بندی انواع مختلف انرژی.....	1.2
45.....	1.3 منابع اصلی پیدایش انرژی و تبدیل انواع انرژی ها به یکدیگر.....	1.3
46.....	1.3.1 مقدمه.....	1.3.1
47.....	1.3.2 منابع اصلی پیدایش انرژی.....	1.3.2
50.....	1.3.3 تبدیل انواع انرژی ها به یکدیگر.....	1.3.3
52.....	1.3.4 برق.....	1.3.4
56.....	1.4 انرژی خورشیدی، منبع انرژی های گذشته و آینده.....	1.4
58.....	1.4.1 مقدمه.....	1.4.1
64.....	1.4.2 خورشید و تابش خورشیدی.....	1.4.2
70.....	1.4.3 کلیاتی درباره انرژی خورشیدی.....	1.4.3
76.....	1.4.4 تکنولوژی های استفاده از انرژی خورشیدی.....	1.4.4
94.....	1.4.5 کاربردهای انرژی خورشیدی.....	1.4.5
100.....	1.4.6 استقرار فتوولتائیک.....	1.4.6
100.....	1.4.7 اقتصاد خورشیدی.....	1.4.7
101.....	1.4.8 مقیاس کاربردی خورشیدی.....	1.4.8
101.....	1.4.9 خورشیدی مسکونی.....	1.4.9
102.....	1.4.10 ترکیب کردن برق تولیدی از انرژی خورشیدی فتوولتائیک با نیروگاه های موجود.....	1.4.10
103.....	1.4.11 بازارهای عمده فروشی و کلان برای انرژی خورشیدی.....	1.4.11
104.....	1.4.12 استقرار و به کارگیری فن آوری حاضر انرژی خورشیدی.	1.4.12
105.....	1.4.13 یک رویکرد پایانی.....	1.4.13

107.....	1.5 انتقال، ذخیره و توضیع انرژی.....
108.....	1.5.1 مقدمه.....
109.....	1.5.2 انتقال انرژی (Energy Transmission).....
111.....	1.5.3 ذخیره انرژی.....
113.....	1.6 مراجع.....

## فهرست اشکال

شکل 1) ترن هوایی نمونه ای از تلفیق انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی است.....	11.....
شکل 2) انواع انتقال گرما: رسانش، تابش و همرفت.....	12.....
شکل 3) طیف الکترومغناطیسی.....	12.....
شکل 4) ماهواره ها بر اساس انرژی مکانیکی حول کره زمین می چرخند....	13
شکل 5) رعد و برق نمونه ای از تخلیه انرژی پتانسیل الکتریکی.....	14.....
شکل 6) سوخت مایع برای تولید انرژی گرمایی و در نهایت تبدیل به انرژی جنبشی خودرو.....	15.....
شکل 7) زه کشیده شده ای یک تیر و کمان نمونه ای از انرژی پتانسیل کشسانی است که پس از رها کردن زه به انرژی جنبشی تبدیل می شود.....	15.....
شکل 8) جمع آوری صایعات فلزی توسط آهنربا.....	16.....
شکل 9) چرخش سیاره های منظومه شمسی بر اساس میدان های گرانشی.....	16.....
شکل 10) تصویری از یک نیروگاه هسته ای در مجارستان.....	18.....
شکل 11: نحوه به وجود آمدن و انتقال انرژی ها به زمین.....	49.....
شکل 12: تبدیل انواع مختلف انرژی به یکدیگر و استفاده از آن ها برای تولید انرژی الکتریکی و سایر کاربردها (یکی از اهداف اصلی تبدیل انرژی در مقیاس بالا تولید برق است ولی همیشه هدف اصلی نیست).....	52.....
شکل 13: مصرف انرژی نهایی توسط خدمات انرژی و حامل های انرژی مورد استفاده برای تولید برق برای سال های مختلف [4].....	54.....
شکل 14: سهم تولید برق بر اساس منابع انرژی.....	55.....
شکل 15- تصویر شب در یک خانه، دانش آموز در حال مطالعه به کمک شمع در یک منطقه دستریس ناپذیر به انرژی و برق.....	59.....
شکل 16- تصویری از فراهم کردن انرژی برق پاک و رایگان خورشیدی در یک منطقه بکر در افریقا.....	60.....
شکل 17: پیش بینی سهم منابع انرژی تا سال 2027 توسط آژانس بین المللی انرژی (IEA) [8].....	61.....
شکل 18: مقایسه میزان رشد منابع انرژی در سال های مختلف بر اساس درصد.....	62.....
شکل 19: ساختار ستاره خورشید [9].....	65.....
شکل 20: تصویر همچو شیوه ای در داخل خورشید [10]; اتم های هیدروژن به هیلیم تبدیل می شوند که طی این فرآیند مقداری از جرم اولیه به انرژی تبدیل می شود و به صورت نور و گرما (امواج الکترومغناطیس) آزاد می شود.....	68.....

شکل 21: توزیع منبع انرژی خورشیدی در دنیا [11]	75
شکل 22: تصویر یک نیروگاه فتوولتائیک در چین از نمای دور [12]	77
شکل 23: نیروگاه خورشیدی متمرکز (CSP یا نیروگاه حرارتی خورشیدی) از نوع هلیوستات (Heliostat) [13]	78
شکل 24: شماتیک اجزای تولید الکتریسیته از پنل فتوولتائیک تا مصرف آن..	80
شکل 25: شماتیک اجرای یک سیستم فتوولتائیک روی بام یک خانه	81
شکل 26: سلول، پنل (ماژول) و آرایه خورشیدی [15]	82
شکل 27: ساختار و عملکرد داخل یک سلول فتوولتائیک	83
شکل 28: نمونه ای از یک سلول فتوولتائیک لایه نازک و انعطاف پذیر [16].	84
شکل 29: نمونه ای از ادغام کامل مصالح یک ساختمان با سلول های فتوولتائیک [17]	86
شکل 30: تصویر از یک کلکتور سهموی خورشیدی در کالیفرنیا امریکا	[19] 89
شکل 31: تصویر یک برج توان خورشیدی از نوع هلیوستات [19]	90
شکل 32: تصویر یک نیروگاه توان خورشیدی متمرکز از نوع فرنل خطی	[20] 91
شکل 33: تصویر یک سیستم توان خورشیدی متمرکز از نوع دیشی [21]	92
شکل 34: فرایند متمرکز کردن نور خورشید در یک سیستم توان خورشیدی متمرکز در کانون سهموی آن، نوع دیشی [22]	93

## فهرست جداول

جدول 1: برخی از ویژگی های ستاره خورشید [9].....65

# 1.1 انواع انرژی و منابع آن

انرژی روش طبیعت برای نگه داشتن حساب امتیازهای است. (هیوئیت)

"کلمه انرژی به طرز شگفت انگیزی جدید است و تنها در اواسط دهه 1800 به معنای مدرن آن قابل روایی است. این نبود که مردم قبل از آن تشخیص نداده بودند که قدرت های مختلفی در اطراف وجود دارد - ترکیدن الکتریسیته ساکن، یا وزش باد شدید که بادیان را هل می دهد. فقط تصور می شد که آنها چیزهای غیرمرتبطی هستند. هیچ مفهوم گسترده ای از "انرژی" وجود نداشت که تمام این رویدادهای متنوع در آن جای بگیرند." دیوید بودانیس<sup>۱</sup>

## 1.1.1 انواع انرژی

اگر بپذیریم که هستی متشکل است از "ماده" و "انرژی" در آن صورت درک ماده نسبتا ساده تر به نظر می رسد، به این دلیل که انرژی یکی از مفاهیم عمیق و پیچیده در تمام علوم می باشد. برخلاف ماده، بیشتر اوقات نمی توان انرژی را بویید، دید یا لمس کرد. گرچه اغلب ما با انرژی آشناییم اما به دلیل اینکه خیلی از فرم های انرژی یک "چیز" دارای بود، قابل دیدن و قابل لمس (از لحاظ دارا بودن جرم)، نیست، تعریف آن دشوار است. از طرفی ارتباطی که بین ماده و انرژی وجود دارد، این تعریف را دشوارتر می کند.

شاید با توجه به حیطه کتاب و دنیای تکنولوژی بهتر باشد برای تعریف انرژی از مفهوم "کار" استفاده شود که در آن صورت می توان گفت انرژی معادل "توانایی انجام دادن کار" است؛ که یکی از ساده ترین تعریف های انرژی در علم فیزیک است. این تعریف به این معنا است که ما برای انجام دادن هر کاری به انرژی نیاز داریم. باید توجه داشت که کار نوعی انرژی نیست، بلکه روشی برای انتقال انرژی از یک نقطه به نقطه دیگر یا تبدیل آن از یک نوع به نوع دیگری است.

---

David Bodanis <sup>1</sup>

در این تعریف، انرژی ارتباط تنگاتنگی با مفهوم "نیرو" دارد. در فیزیک کلاسیک نیرو به اثری گفته می شود که اجسام می توانند برهم بگذارند و تغییراتی در دینامیک هم ایجاد کنند. نیرو یک کمیت برداری است به این معنی که هم اندازه دارد و هم جهت. طبق تعریفی کلی تر و البته مدرن تر، چهار نوع فعل و انفعال اصلی بین اجسام وجود دارد که به ترتیب قدرت از زیاد به کم، شامل موارد زیر است: نیروی هسته ای قوی، نیروی الکترومغناطیسی، نیروی هسته ای ضعیف، نیروی گرانشی انرژی در فرم های متنوعی ظاهر می شود که عبارتند از: انرژی جنبشی، انرژی گرمایی، انرژی تابش الکترومغناطیسی، انرژی پتانسیل گرانشی، کشسانی، الکتریکی، شیمیایی، هسته ای و یونیزاسیون

امروزه منابع انرژی زیادی برای مهار و استخراج در دسترس هستند که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. این منابع عبارتند از خورشید، باد، آب، سوخت های فسیلی مانند ذغال سنگ و نفت و گاز، عناصر پرتوزا مانند اورانیوم، زمین گرمایی و زیست توده، جزو مردم و اقیانوس

## 1.2 طبقه بندی انواع مختلف انرژی



طبقه بندی ها و تفکیک های مختلفی برای انرژی بر اساس جنبه های مختلف وجود دارد. می توان آن ها از نظر نحوه حضور، زیست محیطی، پایداری، تجدید پذیر بودن، سبز بودن و پاک بودن از هم جدا کرد که این تقسیم بندی ها ممکن است اشتراک ها، مشابهت ها و تفاوت هایی داشته باشند. همه انرژی های تجدیدپذیر انرژی پایدار نیستند و بالعکس.

آلودگی بیش از حد محیط زیست به دلیل استفاده از سوخت های فسیلی از جمله بحران های عظیمی است که با مطرح شدن انرژی نو می تواند برطرف می شود. استفاده از انرژی در صورتی پایدار در نظر گرفته می شود که نیازهای حال حاضر را بدون اینکه نیازهای نسل های آینده را به خطر بیندازد، برطرف کند. تعاریف انرژی پایدار به طور معمول شامل جنبه های زیست محیطی مانند انتشار گازهای گلخانه ای و جنبه های اجتماعی و اقتصادی مانند کمیابی انرژی است. سوزاندن سوخت های فسیلی و زیست توده<sup>2</sup> یکی از عوامل اصلی آلودگی هوا است که باعث می شود سالانه هزاران و حتی میلیون ها نفر فوت کنند. برای توسعه انرژی های پایدار هنوز چالش هایی وجود دارد که باید از نظر هزینه، زیرساخت و سیاست بر آن ها غلبه کرد.

به انرژی مفیدی که از منابع تجدید پذیر بدست می آید و در آنها کریں دخالتی ندارد و به طور طبیعی توسط طبیعت، در مدت کوتاهی شارژ و ذخیره می شود مانند خورشید، باد، باران، جزر و مد، امواج و گرمای هسته زمین، انرژی تجدید پذیر گفته می شود. در مقابل، انرژی های تجدید ناپذیر مانند سوخت های فسیلی وجود دارد که زمان بسیار زیادی برای بوجود آمدن آنها لازم است و به دلیل وجود کریں، محیط زیست را آلوده می کند. این منابع انرژی به دلیل ماهیت کریں فشرده و فرآیندهای استخراج منجر به تخریب محیط زیست و تغییرات آب و هوا می شوند. بسیاری از انرژی های تجدید پذیر در دسته ی انرژی های پایدار قرار می گیرند، ولی برخی از آنها مانند زیست توده به دلیل آلوده کردن محیط زیست، پایدار محسوب نمی شوند [1].

انرژی سبز معمولاً به منابع انرژی تجدیدپذیر اشاره دارد که کمترین تأثیر زیست محیطی را دارند و منجر به تولید کریں نمی شوند. علاوه بر زیست توده، در نهایت حتی دیگر انرژی های تجدیدپذیر هم زیان هایی برای محیط زیست دارند. انرژی سبز شامل انرژی خورشیدی، بادی، آبی و زمین گرمایی است چرا که برق پاک تولید می کنند و ردمای کریں کمتری در مقایسه با منابع انرژی معمولی دارند.

<sup>2</sup> زیست توده: ماده ی گیاهی یا حیوانی است که به عنوان سوخت برای تولید برق یا گرما استفاده می شود، به عنوان مثال چوب، زباله و ...

توجه به این نکته مهم است که می‌تواند در این طبقه‌بندی‌ها هم پوشانی و دیدگاه‌های متفاوتی وجود داشته باشد، زیرا ارزیابی منابع انرژی ممکن است به زمینه‌ها، فناوری‌ها و عوامل اجتماعی-اقتصادی خاص بستگی داشته باشد.

مزایای انرژی پایدار فراتر از تجدید پذیری آن است. انرژی پایدار مزایای زیست محیطی قابل توجهی مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا مرتبط با منابع انرژی سنتی را ارائه می‌دهد. علاوه بر این، منابع انرژی پایدار اغلب بیشتر و بهتر توزیع می‌شوند و استقلال انرژی را ارتقا می‌دهند و آسیب‌پذیری سیستم‌های قدرت مرکز را کاهش می‌دهند. برای تحقق کامل پتانسیل انرژی پایدار، پیشرفت در فناوری، زیرساخت‌ها و حمایت از سیاست ضروری است. سرمایه‌گذاری مستمر در تحقیق و توسعه برای بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و ادغام منابع مختلف انرژی پایدار در شبکه انرژی موجود ضروری است. انرژی پایدار دامنه وسیع تری را در بر می‌گیرد که نه تنها جنبه‌های زیست محیطی، بلکه اثرات اجتماعی-اقتصادی و مدیریت بلندمدت منابع را نیز شامل می‌شود.

- انرژی پایدار کل چرخه حیات سیستم‌های انرژی را با در نظر گرفتن عواملی مانند استخراج منابع، تولید، توزیع و دفع پایان چرخه عمر در نظر می‌گیرد. این برنامه استراتژی‌های کل نگر برای تولید، مصرف و مدیریت انرژی را برای تضمین آینده انرژی پایدار ترویج می‌کند.

- در حالی که انرژی سبز در درجه اول بر کاهش انتشار کربن مرکز دارد، انرژی پایدار جنبه‌های دیگر پایداری مانند بهره‌وری انرژی، حفاظت از تنوع زیستی، برابری اجتماعی و دوام اقتصادی را در نظر می‌گیرد. انرژی پایدار فراتر از منابع انرژی تجدیدپذیر است و همچنین شامل اقدامات بهره‌وری انرژی، شیوه‌های صرفه‌جویی در انرژی و ادغام سیستم‌های انرژی است که استفاده بهینه از منابع را ترویج می‌کند و تلفات و ضایعات را کاهش می‌دهد.

- انرژی سبز اغلب به عنوان یک انتخاب مصرف کننده یا به عنوان یک محصول خاص مانند خرید اعتبار انرژی سبز یا نصب پنل‌های خورشیدی به بازار عرضه می‌شود. از سوی دیگر، انرژی پایدار، ابعاد وسیع تری را در بر می‌گیرد شامل چشم‌انداز، شامل چارچوب‌های سیاست، پیشرفت‌های تکنولوژیکی، و تغییرات سیستمی در بخش انرژی.

به طور خلاصه، انرژی سبز را می‌توان به عنوان زیرمجموعه‌ای از انرژی

پایدار با تمرکز ویژه بر کاهش کربن و انتشار کم یا صفر در نظر گرفت. انرژی پایدار مفهومی چند بعدی است که ملاحظات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی را در برنامه ریزی و مدیریت سیستم های انرژی با هدف پایداری و انعطاف پذیری بلندمدت ادغام می کند.

# 1.3 منابع اصلی پیدایش انرژی و تبدیل انواع انرژی ها به یکدیگر



### 1.3.1 مقدمه

تبديل انرژی نقش اساسی در شکل دهی دنیای مدرن ما، پیشرفت‌ها و پیشبرد فعالیت‌های روزمره ما دارد. تبدیل انرژی از میلیاردها سال قبل همواره در حال رخ دادن بوده است که امروزه انسان با شناخت این فرایندهای طبیعی قدیمی برای اهداف خاص و نوین خودش در تبدیل انرژی اقدام می‌کند. توانایی تبدیل کارآمد یک نوع انرژی به شکل دیگر در حوزه‌های مختلف از جمله حمل و نقل، صنعت و زندگی شخصی ما بسیار مهم است. این فرآیند به دلایل متعددی اهمیت زیادی دارد. یکی از دلایل اصلی در ماهیت محدود منابع انرژی ما نهفته است. تبدیل انرژی ما را قادر می‌سازد تا از اشکال مختلف انرژی بهره ببریم و پتانسیل آن‌ها را به طور موثر مهار کنیم. منابع انرژی تجدیدپذیر دارای ذخایر وسیعی هستند که تأمین انرژی پاک و طولانی مدت را تضمین می‌کنند. با تبدیل موثر این منابع، ما می‌توانیم ردپای کربن خود را کاهش دهیم، با تغییرات آب و هوایی مبارزه کنیم و از سیاره خود برای نسل‌های آینده محافظت کنیم. تبدیل انرژی همچنین مزایای ملموسی برای سیستم‌های حمل و نقل دارد. صنعت نیز به شدت به فرآیندهای تبدیل انرژی متکی است. کارخانه‌ها و تأسیسات به مقادیر قابل توجهی انرژی برای تأمین انرژی عملیات خود نیاز دارند. تبدیل انرژی کارآمد به صنایع اجازه می‌دهد تا صنایع را به حداقل برسانند، تولید را بهینه کنند و مصرف انرژی را کاهش دهند و به پایداری اقتصادی و زیست محیطی کمک کنند. استفاده از منابع انرژی پاک تر در فرآیندهای صنعتی انتشارات مصر را کاهش می‌دهد و رفاه جوامع اطراف را تضمین می‌کند. علاوه بر این، تبدیل انرژی تاثیر بسیار مهمی روی زندگی روزمره انسان‌ها دارد. امکانات رفاهی زیادی از طریق تبدیل انرژی ممکن می‌شود، از شارژ دستگاه‌های الکترونیکی گرفته تا گرمایش یا سرمایش خانه‌ها. فناوری‌های تبدیل انرژی، مانند پنلهای خورشیدی یا پمپ‌های حرارتی، صاحبان خانه‌ها را قادر می‌سازد تا برق خود را تولید کنند یا از منابع طبیعی مانند گرمایی زمین گرمایی به طور موثر استفاده کنند. این نه تنها هزینه‌های انرژی را کاهش می‌دهد، بلکه افراد را قادر می‌سازد تا در گذار به سوی آیندهای سبزتر مشارکت کنندگان فعالی باشند.

در نتیجه، تبدیل انرژی جایگاه مهمی در جامعه ما و توسعه جهانی دارد. با تبدیل و بهینه سازی اشکال مختلف انرژی، می‌توانیم به طور موثر به چالش‌های ناشی از منابع محدود، تغییرات آب و هوا و شیوه‌های ناپایدار رسیدگی کنیم. این فرآیند در دستیابی به آینده‌ای پایدار، پاک و مرفه برای خود و نسل‌های آینده

اهمیت زیادی دارد. در این بخش منابع اصلی پیدایش انرژی و تبدیل انواع مختلف این انرژی‌ها به یکدیگر بررسی شده است.

## 1.3.2 منابع اصلی پیدایش انرژی

خورشید در واقع منبع نهایی همه انواع انرژی موجود بر روی زمین است، به استثنای انرژی هسته‌ای و زمین‌گرمایی. انرژی خورشیدی بر روی زمین از طریق روش‌های مختلف مهار می‌شود. به عنوان مثال، پنل‌های خورشیدی که از سلول‌های فتوولتاویک تشکیل شده‌اند، نور خورشید را جذب کرده و از طریق اثر فتوولتاویک به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. این انرژی الکتریکی را می‌توان به روش‌های مختلف استفاده کرد. علاوه بر انرژی‌هایی که مستقیماً از خورشید دریافت می‌شوند (مانند فتوولتاویک)، توان خورشیدی مرکز گرمایش، روشنایی، فتوسترنر، طراحی خورشیدی غیرفعال و غیره که در ادامه درباره آن‌ها توضیح داده شده است)، انرژی خورشیدی به طور غیرمستقیم انرژی چندین منبع انرژی تجدیدپذیر دیگر را تامین می‌کند و قبل از این منابع تجدیدنپذیر را هم فراهم کرده است. به عنوان مثال، انرژی باد زمانی تولید می‌شود که نور خورشید قسمت‌های مختلف زمین را به طور ناهموار گرم می‌کند و باعث تغییرات دما و در نتیجه فشار هوا می‌شود. این تغییرات منجر به حرکت هوا و ایجاد باد می‌شود که می‌تواند از طریق توربین‌های بادی برای تولید برق استفاده شود. انرژی جزر و مدی به دلیل اثرات نیروهای گرانشی ماه و خورشید روی زمین به وجود می‌آید. تأثیر خورشید بر انرژی جزر و مد تأثیر می‌گذارد. زمان لازم برای انتقال و ایجاد انرژی‌های جزرومد و بادی تقریباً چند دقیقه تا چند ساعت است.

به طور مشابه، نیروی برق آبی به انرژی خورشیدی متکی است. خورشید آب اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها را تبخیر می‌کند و ابرها را تشکیل می‌دهد که در نهایت منجر به بارش باران یا برف می‌شود. این آب انباسته شده از میان رودخانه‌ها و نهرها می‌گذرد، توربین‌ها را به حرکت در می‌آورد و هنگام عبور از نیروگاه‌های برق آبی، برق تولید می‌کند. این فرایند چند هفته تا چند ماه طول می‌کشد. حتی سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی نیز در نهایت از انرژی خورشیدی به دست می‌آیند. میلیون‌ها سال پیش، گیاهان با جذب نور خورشید از طریق فرآیند فتوسترنر رشد می‌کردند. وقتی این گیاهان مردند و تجزیه شدند، لایه‌هایی از مواد آلی را تشکیل دادند که با گذشت زمان از

طريق گرما و فشار در عمق پوسته زمين به سوختهای فسيلى تبديل شدند. تنها دو منبع انرژى هستهای و زمين گرمایى، منبع اصلی آن ها ستاره خورشيد نىست. انرژى هستهای از عناصر تشعنىتی<sup>۳</sup> مانند اورانيوم توليد مى شود. وجود عناصر تشعنىتی مانند اورانيوم در زمين را مى توان با فرآيندهایی که در طول شکل گيرى منظومه شمسی رخ داده است، توضیح داد. اين عناصر عمداً در جريان انفجار ابرنواختز<sup>۴</sup> ستارگان عظيم، حدود 6 تا 7 مليارد سال پيش، توليد شده اند. اين فرآيند که به عنوان نوكليوسنتز<sup>۵</sup> شناخته مى شود، شامل ادغام عناصر سبکتر مانند هيdroزن در هسته ستاره ها برای تشکيل عناصر سنگين تر مانند اورانيوم، آهن و ساير عناصر بود. ديگر انرژى زمين که همزمان با تشکيل خورشيد و منظومه شمسی وجود داشته است، انرژى زمين گرمایى اهسته زمين به دو دليل گرمای باقیمانده از هنگام تشکيل سياره و فروپاشی عناصر راديواكتيو داخل آن داغ است. زمانی که زمين تقریباً 4 مليارد سال پيش شکل گرفت، تحت فرآيندی به نام برافرايزش<sup>۶</sup> قرار گرفت که در آن اجسام کوچکتر سياره ای با هم برخورد کرده و ادغام شدند و مقدار قابل توجهی انرژى آزاد کردند. اين فرآيند گرما توليد کرد و باعث شد زمين تا حدی مذاب شود. با گذشت زمان، همانطور که سياره به برافرايزش ادامه داد و نیروهای گرانشی هسته را فشرده کردند، مواد مذاب جامد شدند، اما بیشتر گرمای اوليه خود را حفظ کردند. يكی ديگر از گرمایيش هسته زمين واپاشی عناصر راديواكتيو است. هسته زمين حاوی مقدار کمی عناصر راديواكتيو مانند اورانيوم، توريم و پتاسيم است. اين عناصر در اوائل شکل گيرى زمين وجود داشتند و همچنان در معرض فروپاشی راديواكتيو هستند. در طی اين فرآيند، هسته های اتم اين عناصر به طور خود به خود شکسته مى شوند و مقداری از جرم اوليه به صورت انرژى گرمایى عظيم آزاد مى شود.

شكل 1 نحوه به وجود آمدن و انتقال انرژى ها به زمين را به همراه زمان و دوره های مورد نياز به تصوير مى کشد.

---

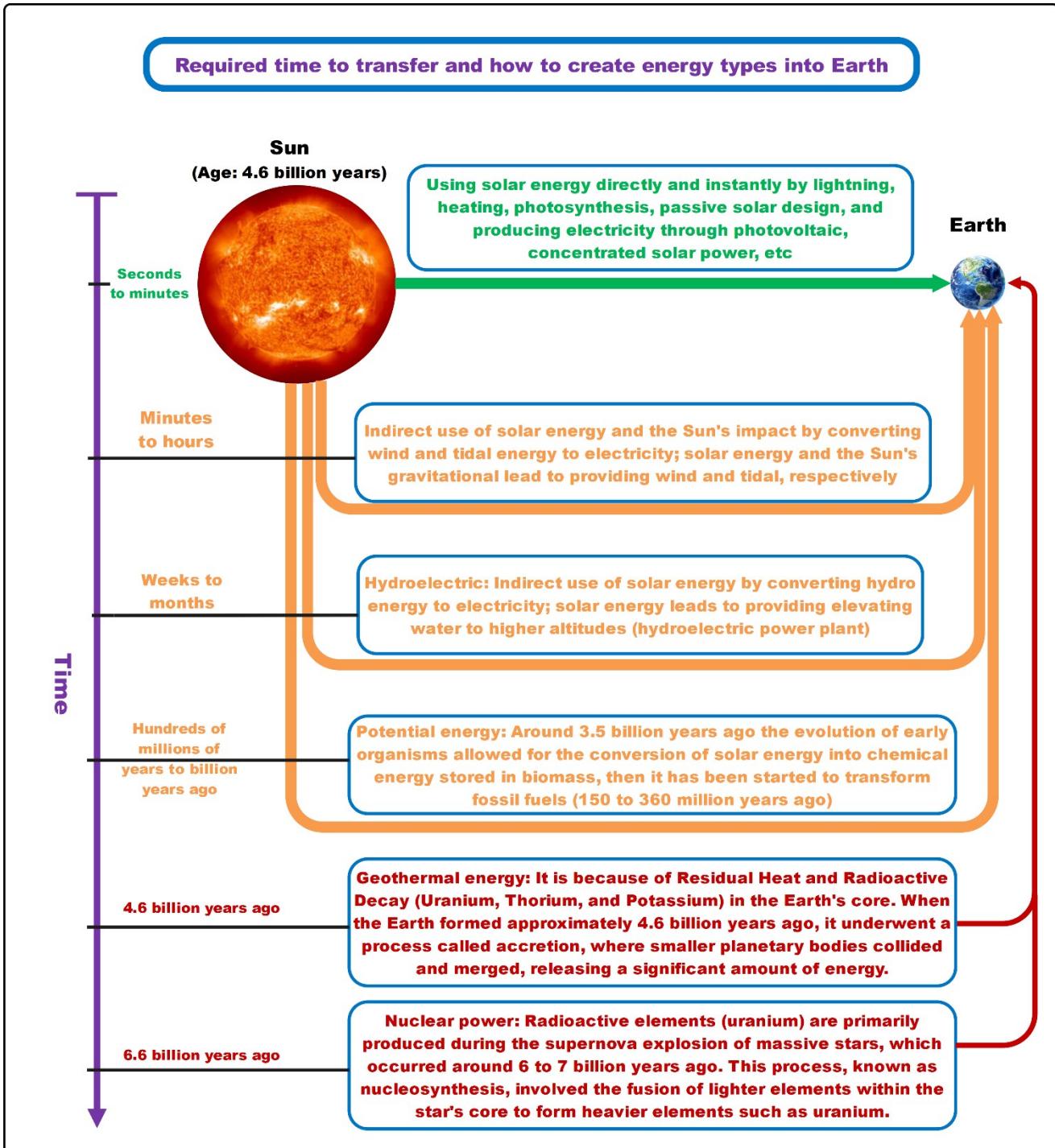
<sup>3</sup> Radiative

<sup>4</sup> Supernova explosion

<sup>5</sup> Nucleosynthesis

<sup>6</sup> Accretion





شكل 1: نحوه به وجود آمدن و انتقال انرژی ها به زمین

### 1.3.3 تبدیل انواع انرژی ها به یکدیگر

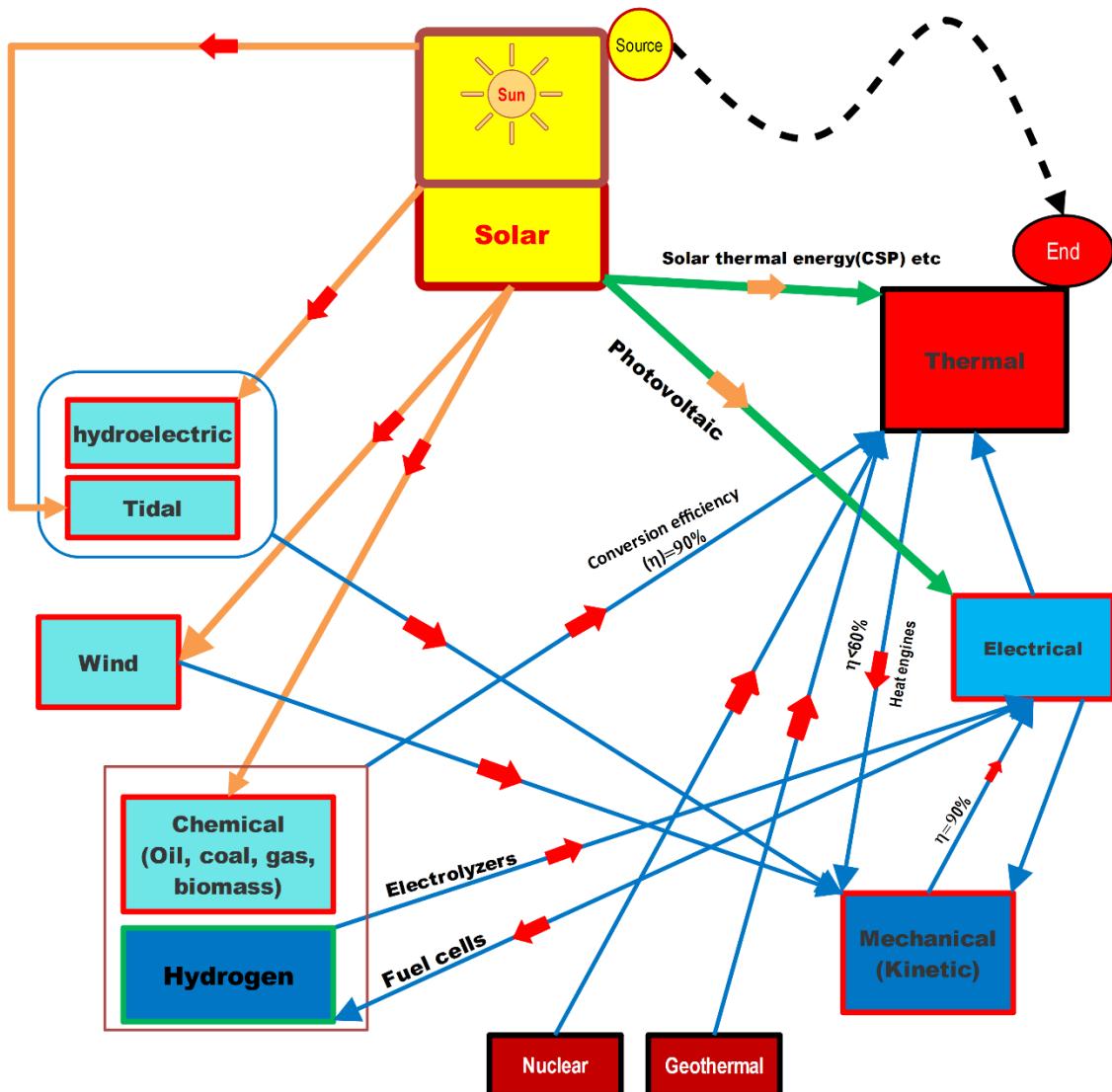
در این بخش تبدیل انواع انرژی به یکدیگر بررسی شده است که همه انرژی‌ها از خورشید سرچشمه می‌گیرند به جز انرژی هسته‌ای و زمین‌گرمایی. در جهان هستی انرژی به شکل‌های مختلف وجود دارد که در شکل 2 تبدیل آن‌ها به یکدیگر نشان داده شده است. شکل‌های مختلف انرژی همواره در حال تبدیل به یکدیگر هستند ولی مبدأ انرژی‌ها را می‌توان خورشید در نظر گرفت و مقصد نهایی تمامی آن‌ها انرژی‌گرمایی است. قابل مشاهده است که معمولاً انرژی شیمیایی ذخیره شده در سوخت‌های فسیلی با سوزاندن به انرژی‌گرمایی تبدیل می‌شود که بازده این احتراق‌ها تقریباً 90 درصد می‌باشد. با استفاده از موتورهای حرارتی می‌توان انرژی حرارتی را به انرژی مکانیکی تبدیل کرد. موتورهای حرارتی دارای راندمان تبدیل انرژی حداکثر تا 60 درصد هستند. بازده و کارایی آنها در نهایت توسط قید بازده کارنو<sup>7</sup> محدود می‌شود که اکثر خودروها و ماشین‌های حرارتی فعلی بر اساس این اصل کار می‌کنند. انرژی مکانیکی را می‌توان با استفاده از ژنراتور<sup>8</sup>‌های الکتریکی با راندمان تا 99 درصد به الکتریسیته تبدیل کرد. هم‌اکنون بیشتر برق جهان با یک توربو ژنراتور که به یک توربین بخار متصل است، تولید می‌شود (چرخه رانکین) و منبع اصلی انرژی توربین بخار اکثراً زغال سنگ است. در طول فرآیند تولید برق از سوخت‌های فسیلی، حداقل ۵۰٪ از انرژی شیمیایی اولیه موجود در این سوخت‌ها تلف می‌شود.

---

<sup>7</sup> Carnot efficiency

<sup>8</sup> Generator

**Converting different types of energy to each other and using them to produce electrical energy and other applications**



**Solar energy is the source of all energy types except nuclear energy and geothermal, and thermal energy is the final destination of all energy types in the universe**



شکل 2: تبدیل انواع مختلف انرژی به یکدیگر و استفاده از آن ها برای تولید انرژی الکتریکی و سایر کاربردها (یکی از اهداف اصلی تبدیل انرژی در مقیاس بالا تولید برق است ولی همیشه هدف اصلی نیست)

انرژی شیمیایی را می توان مستقیماً با استفاده از پیل سوختی<sup>9</sup> به الکتریسیته تبدیل کرد. رایج ترین سوخت مورد استفاده در فناوری پیل سوختی هیدروژن است. راندمان تبدیل انرژی پیل های سوختی تقریباً ۶۰ درصد است. یک پیل سوختی احیا کننده<sup>۱۰</sup> می تواند در هر دو جهت عمل کند و حتی انرژی الکتریکی را نیز به انرژی شیمیایی تبدیل کند که به این عملیات الکترولیز<sup>۱۱</sup> می گویند. راندمان تبدیل معمولی الکترولیزهای هیدروژن ۵۰ تا ۸۰ درصد گزارش شده است.

در نیروگاه های هسته ای، انرژی به صورت گرمای در طی واکنش های شکافت هسته ای آزاد می شود. به کمک گرمای حاصل شده از شکافت هسته ای بخار آب تولید می شود. ادامه فرآیند تولید برق از این بخار آب شبیه سایر چرخه های تولید انرژی الکتریکی، چرخه رانکین<sup>۱۲</sup> می باشد. در ادامه به کمک بخار تولید شده یک توربین بخار و بعد از آن یک ژنراتور الکتریکی مانند بیشتر نیروگاه های سوخت فسیلی به حرکت در می آید که برق مورد نیاز را تامین می کند.

### 1.3.4 برق

شکل 4 سهم مصرف انواع انرژی ها در سال های مختلف را نشان می دهد که در سال ۲۰۲۰، ۲۰.۵ درصد از کل انرژی ثانویه دنیا به صورت الکتریسیته استفاده می شود و این سهم همچنان در حال افزایش است. شکل ۴ همچنین نشان می دهد که الکتریسیته از چه راه های تامین می شود. الکتریسیته نوعی انرژی است که می تواند به راحتی، ارزان و با تلفات نسبی کوچک از طریق شبکه سراسری برق منتقل شود و بسیار پاک است. انتقال و استفاده این نوع انرژی حتی در مقایسه با سایر انرژی ها مثل گاز طبیعی، راحت تر و ایمن تر است. با استفاده از دستگاه های مکانیکی می توان انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی، انرژی حرارتی و انرژی شیمیایی تبدیل کرد و برعکس. این قابلیت تبدیل به انواع

<sup>9</sup> Fuel cell

<sup>10</sup> Regenerative fuel cell

<sup>11</sup> Electrolysis

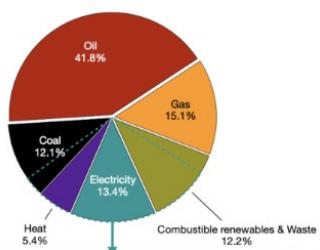
<sup>12</sup> Rankin cycle

مختلف انرژی، الکتریسیته را به یک فرم قابل استفاده و گستردۀ از انرژی تبدیل کرده است. انرژی الکتریسیته در بسیاری از جوانب زندگی ما نقش اساسی دارد که شامل روشنایی، گرمایش، سیستم‌های ارتباطات، الکترونیک، صنایع، حمل و نقل الکتریکی، پزشکی و بسیاری دیگر است. این وسیع بودن کاربردها، الکتریسیته را به یک منبع انرژی بسیار مهم در زندگی روزمره و صنعت تبدیل کرده است و به صورت روز افزون در حال افزایش است. درک این نکته مهم است که بدون برق جامعه مدرن آنطور که می‌شناسیم امکان پذیر نخواهد بود. اکنون بیش از 100 سال است که از برق عملًا استفاده می‌شود و دسترسی به برق به شدت استاندارد زندگی ما را تعیین می‌کند.

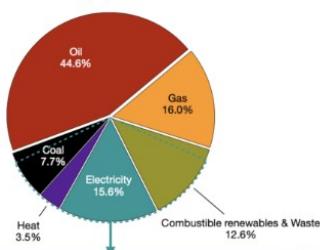
طبق آخرین داده‌های موجود از آژانس بین‌المللی انرژی<sup>13</sup> تا سال 2021، تقریباً 759 میلیون نفر در سراسر جهان به برق دسترسی نداشتند. این رقم نشان دهنده کاهش قابل توجهی نسبت به سال‌های گذشته و پیشرفت در گسترش دسترسی جهان به برق است. تقریباً 1.7 میلیارد نفر در سراسر جهان در سال 2000 به برق دسترسی نداشتند. در سال 2021، حدود 61 درصد از برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود که زغال‌سنگ سهم اصلی آن است. از آنجایی که زغال‌سنگ در هر کیلووات ساعت تولید شده حدود دو برابر بیشتر از گاز طبیعی کربن دی‌اکسید منتشر می‌کند، نیروگاه‌های زغال‌سنگ سهم عمدۀ ای در گرم شدن کره زمین دارند. انرژی هسته‌ای 8.9 درصد از تولید برق جهان را بر عهده دارد و برق آبی با 15 درصد بیشترین سهم را در میان منابع انرژی تجدیدپذیر دارد. از کل برق تولیدی، حدود 40 درصد از انرژی الکتریکی برای مصارف مسکونی و 47 درصد در صنعت استفاده می‌شود و 13 درصد از انرژی در انتقال تلف می‌شود. در سال‌های اخیر حمل و نقل نقش مهمی در مصرف برق نداشت اما انتظار می‌رود که با توجه به اهمیت خودروهای الکتریکی، سهم آن‌ها قابل توجه شود. شکل 4 سهم تولید برق بر اساس منابع انرژی را بر حسب سال نشان می‌دهد. قابل توجه است که درصد تولید الکتریسیته از بین انرژی‌های پایدار تنها برای انرژی خورشیدی و انرژی بادی در حال رشد است. در بین همه آن‌ها میزان رشد انرژی خورشیدی از همه بیشتر است و سهم تولید از منابع برق آبی، هسته‌ای، ذغال‌سنگ همواره در حال کاهش است.

<sup>13</sup> International Energy Agency (IEA)

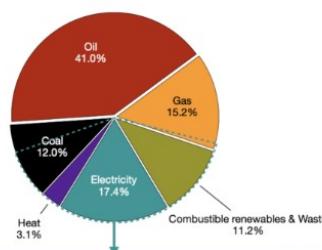
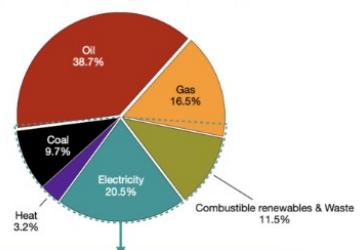
World Final Energy by share of fuel in 1990



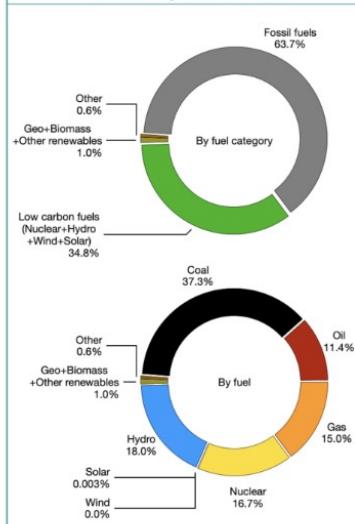
World Final Energy by share of fuel in 2000



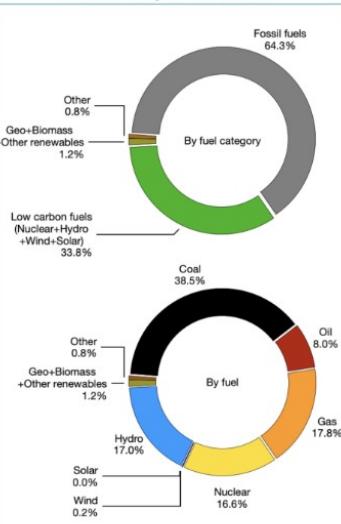
World Final Energy by share of fuel in 2010

World Final Energy by share of fuel in 2020  
(Most recent year of data at time of publishing)

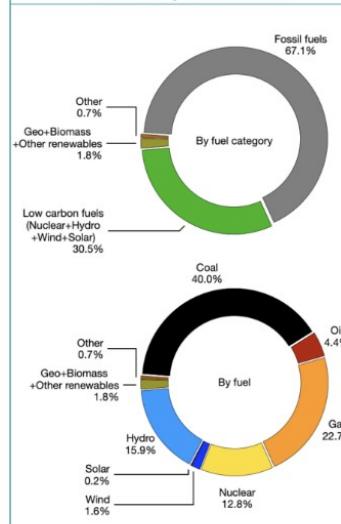
World Electricity Generation in 1990



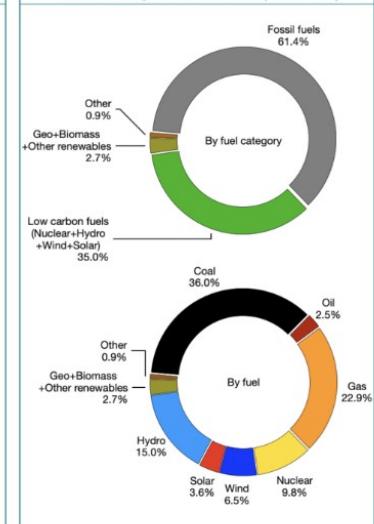
World Electricity Generation in 2000



World Electricity Generation in 2010



World Electricity Generation in 2021 (most recent)



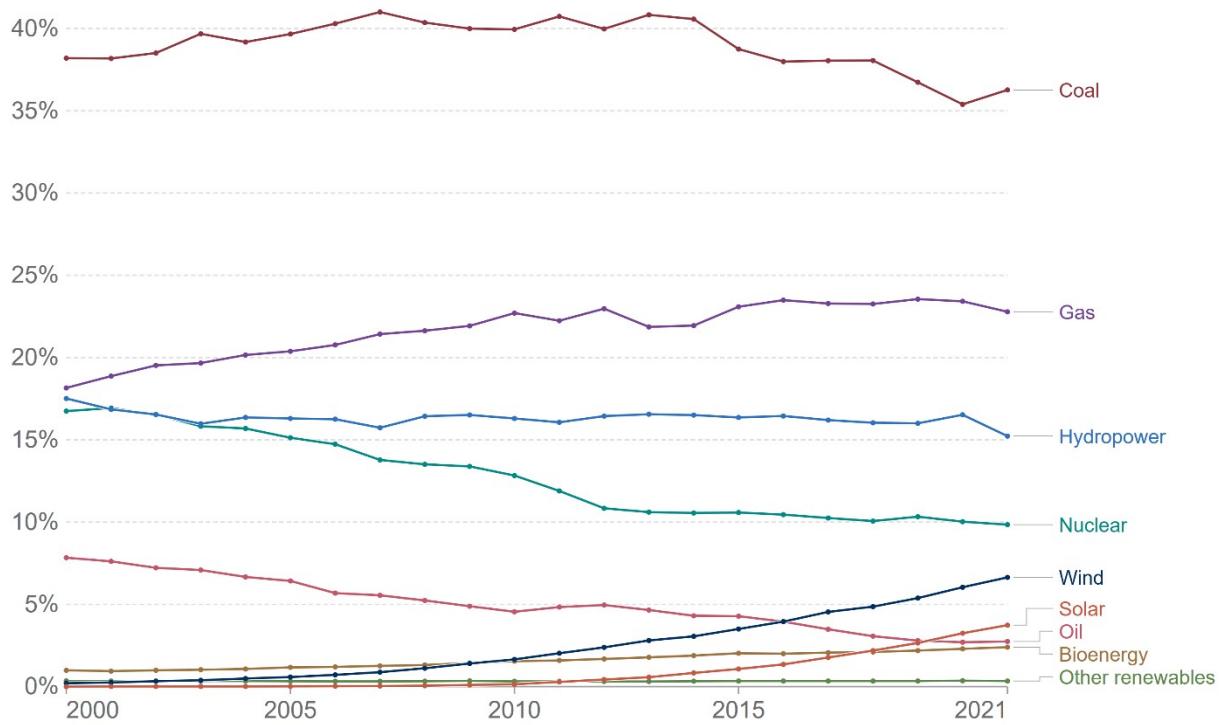
Hydrogen (H<sub>2</sub>) consumption is not shown although perhaps it's tallied in the "Heat" segment of the top-most pie charts. This isn't explained in the IEA's definitions ([https://iea.blob.core.windows.net/assets/25266100-859c-4b9c-bd46-cc4099b44412/WORLDDBA\\_Documentation.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/25266100-859c-4b9c-bd46-cc4099b44412/WORLDDBA_Documentation.pdf)), nor do their definitions reference hydrogen.

H<sub>2</sub> "demand" in 2020 was 89 Mt (<https://www.iea.org/reports/hydrogen>). At the rated energy content of 120 MJ/kg (<https://www.energy.gov/eere/hydrogen-storage>), this was equivalent to 0.7% of world total final energy in 2020. Low-carbon hydrogen was less than 1% of global hydrogen production in 2021 (<https://www.iea.org/reports/hydrogen>), equivalent to 0.027% of world final energy in 2020 (one fortieth of one percent).

شكل 3: مصرف انرژی نهایی توسط خدمات انرژی و حامل های انرژی  
مورد استفاده برای تولید برق برای سال های مختلف [4]

## Share of electricity production by source, World

Our World  
in Data

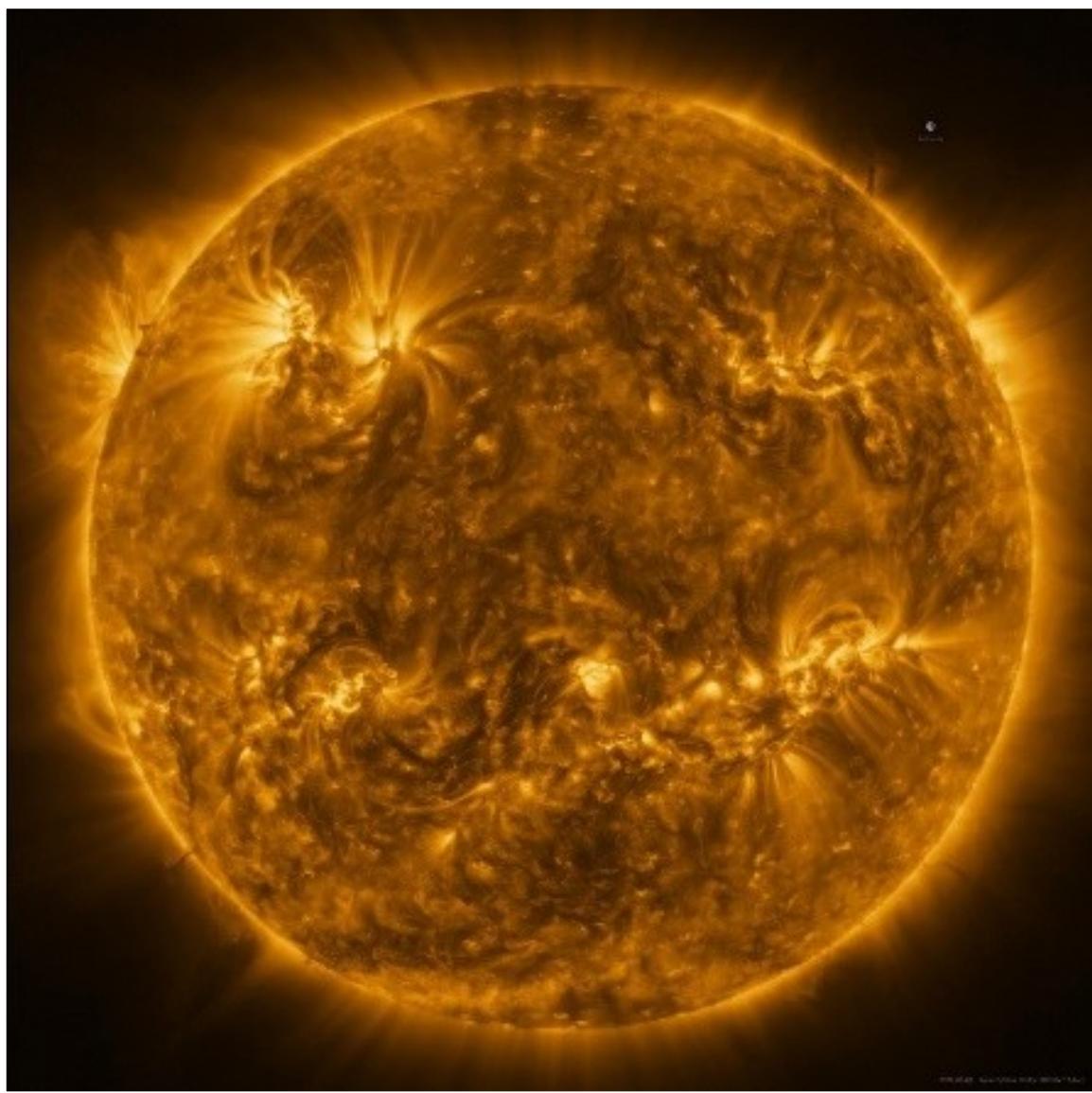


Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy & Ember

OurWorldInData.org/energy • CC BY

شكل 4: سهم تولید برق بر اساس منابع انرژی

## 1.4 انرژی خورشیدی، منبع انرژی های گذشته و آینده



نزدیک ترین تصویر از ستاره خورشید توسط کاوشگر اروپایی در 24 مارس 2022  
(این عکس به تنها ی شامل 99.86 درصد کل جرم و حجم منظومه شمسی می باشد!) [5]

به نظر می‌رسد انرژی خورشیدی موهبتی است جهت امداد و معاشر بیشتر بشر و به تعویق انداختن انقراضش، چرا که منبع تمامی انرژی‌ها (به جز هسته‌ای و زمین گرمایی) خورشید است و ما از انواع آن‌ها به صورت غیر مستقیم و متاخر (سوخت‌های فسیلی و...) استفاده می‌کنیم. امروزه بشر به دلیل تغییرات اقلیمی و کمبود سوخت‌های فسیلی، بسیار بیشتر از گذشته به دنبال توسعه فناوری‌های استفاده مستقیم و آنی از انرژی خورشیدی فراوان و تجدیدپذیر است. امید ملائی

## 1.4.1 مقدمه

ستاره خورشید منبع و دلیل همه انواع انرژی روی کره زمین است به جز انرژی هسته‌ای و زمین گرمایی. حتی دلیل به وجود آوردن انرژی جزر و مد نیز اثر گرانش خورشید و ماه است. خورشید که ۹۹.۸۶ درصد از جرم و حجم منظومه شمسی را تشکیل می‌دهد، به نظر می‌رسد نقش بسیار اساسی‌تر از تصورات بشر را دارد! مطالعه آماری در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که رشد و اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر انرژی‌ها بیشتر است. اهمیت خورشید و انرژی خورشیدی برای منظومه شمسی از جمله کره زمین در چیست؟ آیا امکان پذیر است که برای تمامی ساکنین کره زمین انرژی لازم برای انجام کارهای روزمره را به صورت مقرن به صرفه و بدون آلودگی تأمین کرد؟ نقش انرژی خورشیدی در تامین الکتریسیته برای یک میلیار نفر در سراسر جهان که به برق دسترسی ندارند، چیست؟ فرصت‌ها و موانع کدام‌اند؟ تاثیر انرژی خورشیدی رایگان، در دسترس و فراوان روی زندگی انسان، سوخت‌های فسیلی، آلایندگی‌ها و گرمایش زمین و مشکلات استفاده از آن چگونه است و چگونه خواهد بود؟



شکل 5- تصویر شب در یک خانه، دانش آموز درحال مطالعه به کمک شمع  
در یک منطقه دسترس ناپذیر به انرژی و برق



شکل 6- تصویری از فراهم کردن انرژی برق پاک و رایگان خورشیدی در یک منطقه بکر در افریقا

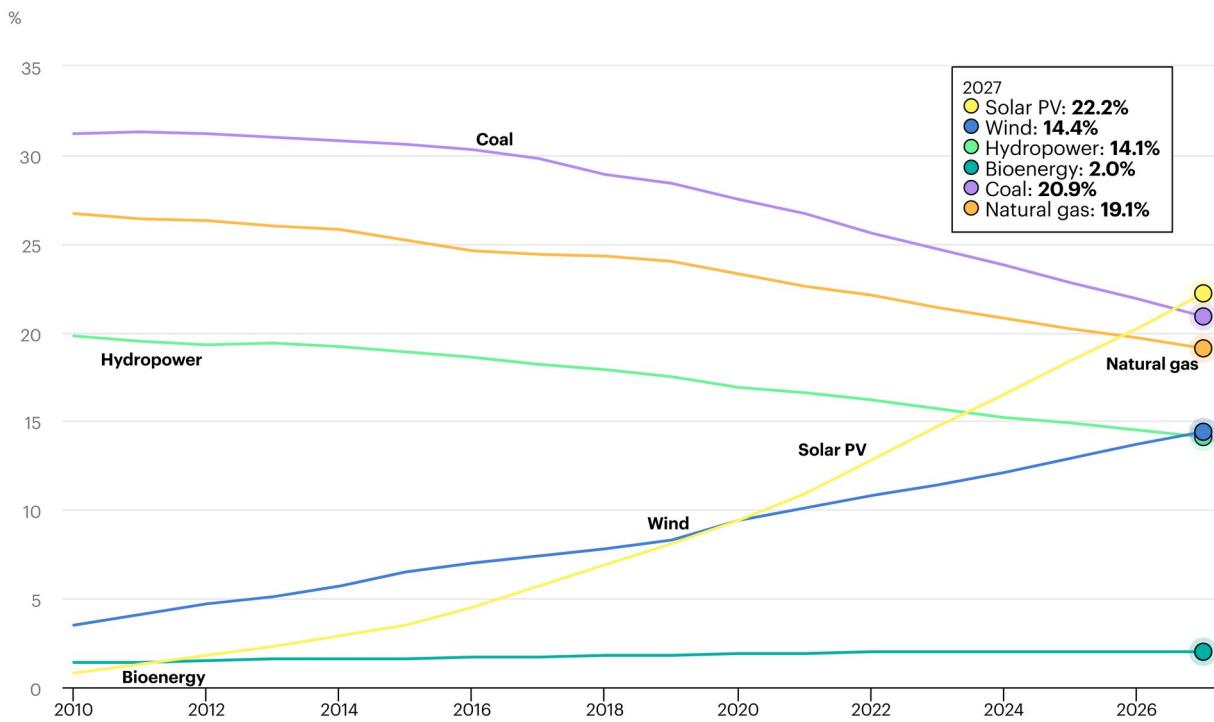
گسترش عظیم استفاده از انرژی خورشیدی در سراسر جهان تا اواسط قرن حاضر، احتمالاً بخشی ضروری از هر رویکرد و استراتژی جدی برای کاهش تغییرات نامطلوب آب و هوایی است. خوشبختانه، منبع رایگان و پاک انرژی خورشیدی پتانسیل تامین بخش قابل توجه از انرژی مورد نیاز آینده را دارد. خورشید یک منبع انرژی فراوان و عملأً پایان ناپذیر است که به شدت از نیازهای جهانی انرژی کنونی ما پیشی گرفته است و می تواند نیازهای انرژی ما را فراهم کند. در سال های اخیر، هزینه های استفاده از انرژی خورشیدی به طور قابل توجهی کاهش یافته است و میزان استفاده از آن به طور سریع در حال رشد است. امروزه انرژی خورشیدی تنها حدود 3.74 درصد از تولید برق جهان را تشکیل می دهد [6]. استفاده از انرژی های غیر تجدید پذیر منجر به تولید کربن دی اکسید می شود. این تولید کربن دی اکسید یک نوع هزینه منفی و مخرب به محیط زیست و انسان ها تحمیل می کند. برای مقایسه هزینه استفاده از انرژی های مختلف اگر هزینه نامطلوب تولید کربن دی اکسید در نظر گرفته شود،

استفاده از انرژی های تجدید پذیر مخصوصاً انرژی خورشیدی کاملاً مقرن به صرفه می باشد [7]. اگر برای انتشار دی اکسید کربن جریمه در نظر گرفته نشود، افزایش ظرفیت استفاده از انرژی خورشیدی تا سطح بالا امکان پذیر نخواهد بود. ولی اگر همراه با درنظر گرفتن چالش آب و هوایی تغییر قابل توجهی در سیاست های دولت اعمال شود، استفاده از انرژی خورشیدی رایگان، پاک و تمام ناشدنی با سرعت بسیار بیشتری افزایش می یابد. سیاست های نامطلوب، متناوب بودن، هزینه بالا و مقیاس پذیری مهم ترین موانع و مشکلات مربوط به انرژی خورشیدی و سایر انرژی های تجدید پذیر هستند که در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرند. اگر چه نرخ رشد استفاده از انرژی خورشیدی از تمامی انرژی های دیگر بیشتر است ولی این موانع همچنان پیشرفت بیشتر این حوزه را کند کرده است.

آژانس بین المللی انرژی<sup>14</sup> پیش بینی کرده است که از سال 2027 به بعد انرژی خورشیدی از تمامی منابع دیگر پیش خواهد گرفت. این آژانس اشاره کرده است که در سال 2027 22.22 درصد از انرژی فقط از انرژی خورشیدی از نوع فتوولتائیک تامین خواهد شد (حتی با صرف نظر از سایر تکنولوژی های استفاده از انرژی خورشیدی). نمودار این گزارش در شکل 7 نمایش داده شده است.

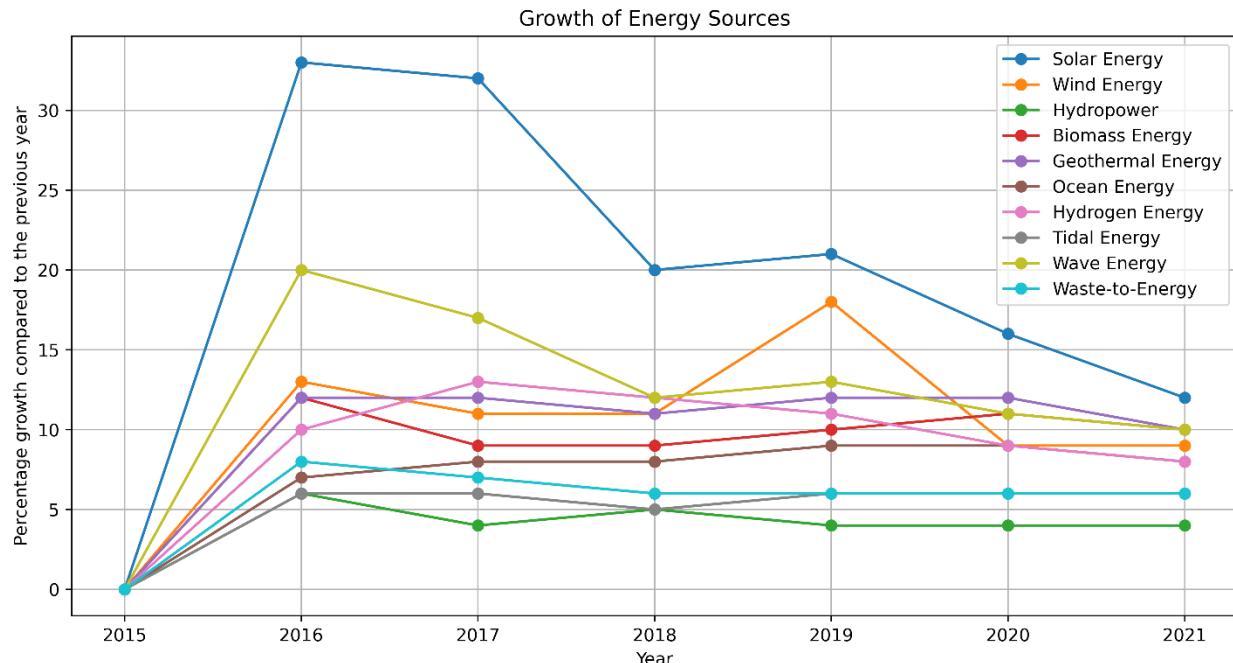
---

<sup>14</sup> International Energy Agency (IEA)



شکل 7: پیش بینی سهم منابع انرژی تا سال 2027 توسط آژانس بین المللی انرژی (IEA) [8]

شکل 8 مقایسه میزان رشد منابع انرژی تجدیدپذیر در سال های مختلف بر اساس درصد نشان داده است. قابل مشاهده است که میزان رشد انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر منابع انرژی تجدیدپذیر برای تمامی سال های اخیر در رتبه نخست قرار دارد. قابل توجه است که هم اکنون انرژی برق آبی سهم بسیار زیادی از انرژی را در کل دنیا تامین می کند، ولی افزایش ظرفیت آن با مشکلاتی مواجه است که در نمودار ترسیم شده هم میزان رشد آن کمترین می باشد. در حالت کلی، میزان استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و گاز طبیعی در سال های اخیر شاهد رشد بالایی بوده است، نفت به طور متوسط رشد داشته است و استفاده از زغال سنگ و هسته ای کاهش یافته است. دلیل این تغییرات در حالت کلی حرکت ترکیب انرژی جهانی به سمت منابع کم کربن و دوستدار محیط زیست میباشد.



شکل 8: مقایسه میزان رشد منابع انرژی در سال های مختلف بر اساس درصد

تولید برق خورشیدی یکی از محدود فناوری‌های انرژی کم کربن است که پتانسیل رشد در مقیاس بسیار بزرگ را دارد. در نتیجه، گسترش گسترده ظرفیت تولید خورشیدی جهانی به مقیاس چند تراوات به احتمال زیاد یک استراتژی ضروری قابل اجرا برای کاهش خطر تغییرات آب و هوایی نامطلوب است. در سال‌های اخیر شاهد رشد سریع ظرفیت تولید خورشیدی نصب شده، پیشرفت‌های بزرگ در فناوری، قیمت و عملکرد و توسعه مدل‌های کسب‌وکار خلاق بوده‌ایم که سرمایه‌گذاری در انواع سیستم‌های خورشیدی مسکونی را ترغیب کرده است. با این وجود، پیشرفت‌های بیشتری لازم است تا امکان افزایش چشمگیر سهم انرژی خورشیدی با هزینه‌های قابل قبول فراهم شود. پیشرفت در این زمینه‌ها به تلاش‌ها برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و توسعه سیستم‌های الکتریکی در کل نقاط دنیا کمک خواهد کرد. همچنین به بیش از یک میلیارد نفر در سرتاسر جهان که اکنون بدون دسترسی به الکتریسیته زندگی می‌کنند، روشنایی، انرژی، قدرت، رفاه و آسایش می‌بخشد. انرژی خورشیدی می‌تواند به الکتریسیته، گرما و انرژی شیمیایی تبدیل شود. خورشید منبع انرژی و مسئول تقریباً تمام فرآیندهای انتقال انرژی است که در کره زمین اتفاق می‌افتد به جز انرژی هسته‌ای و زمین گرمایی. باد در اثر اختلاف دمای دو ناحیه از محیط به وجود می‌آید که ناشی از

تابیش خورشید است. امواج توسط باد و گرانش خورشید و ماه ایجاد می شوند، ابرها و باران از تبخیر آب در اثر نور خورشید تشکیل می شوند. بنابراین، از آن جایی که خورشید تنها منبع انرژی واقعی است، باید انسان به دوره ای برود که در آن مستقیماً از انرژی خورشیدی برای اراضی نیازهای انرژی خود استفاده کند.

در این فصل به مطالعه انرژی خورشیدی و انواع روش ها و سیستم های استفاده از آن پرداخته شده است. همچنین به سایر منابع انرژی مانند سوخت های فسیلی و سایر انرژی های تجدیدپذیر در حد لازم اشاره شده است، چرا که خورشید منبع اصلی آن ها است. همچنین این مفاهیم برای درک زنجیره تبدیل انواع انرژی به یکدیگر و درک جامع حوزه انرژی لازم است. مزايا، معایب، موانع و مشکلات پیش رو بحث شده است. از تاثیر این انرژی پاک، رایگان و تجدید پذیر بر روی زندگی انسان از لحاظ رفاهی، اقتصادی، محیط زیستی و آلایندگی بحث شده است که منجر به استفاده درست از انرژی خورشیدی به صورت کاربردی برای تامین نیازها می شود. همچنین درباره سیاست گذاری های قبلی و آینده مطلوب و نامطلوب سیاست گذاران صحبت شده و پیشنهاداتی در این باره انجام گرفته است که می تواند مرجع خوبی برای تصمیم گیرندگان باشد. در این فصل به ترتیب مبانی مربوط به انرژی خورشیدی و نحوه عملکرد آن، کلیات و مروری بر انرژی خورشیدی، بررسی برخی از تکنولوژی های استفاده از آن مثل سیستم های فتوولتائیک و نیروگاه های حرارتی متمرکز، کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی، توسعه و ترکیب سیستم های خورشیدی با سایر منابع انرژی و بازاریابی توضیح داده شده است. در نهایت جمع بندی مطالب ارائه شده در قالب یک رویکرد پایانی بررسی شده است.

## 1.4.2 خورشید و تابیش خورشیدی

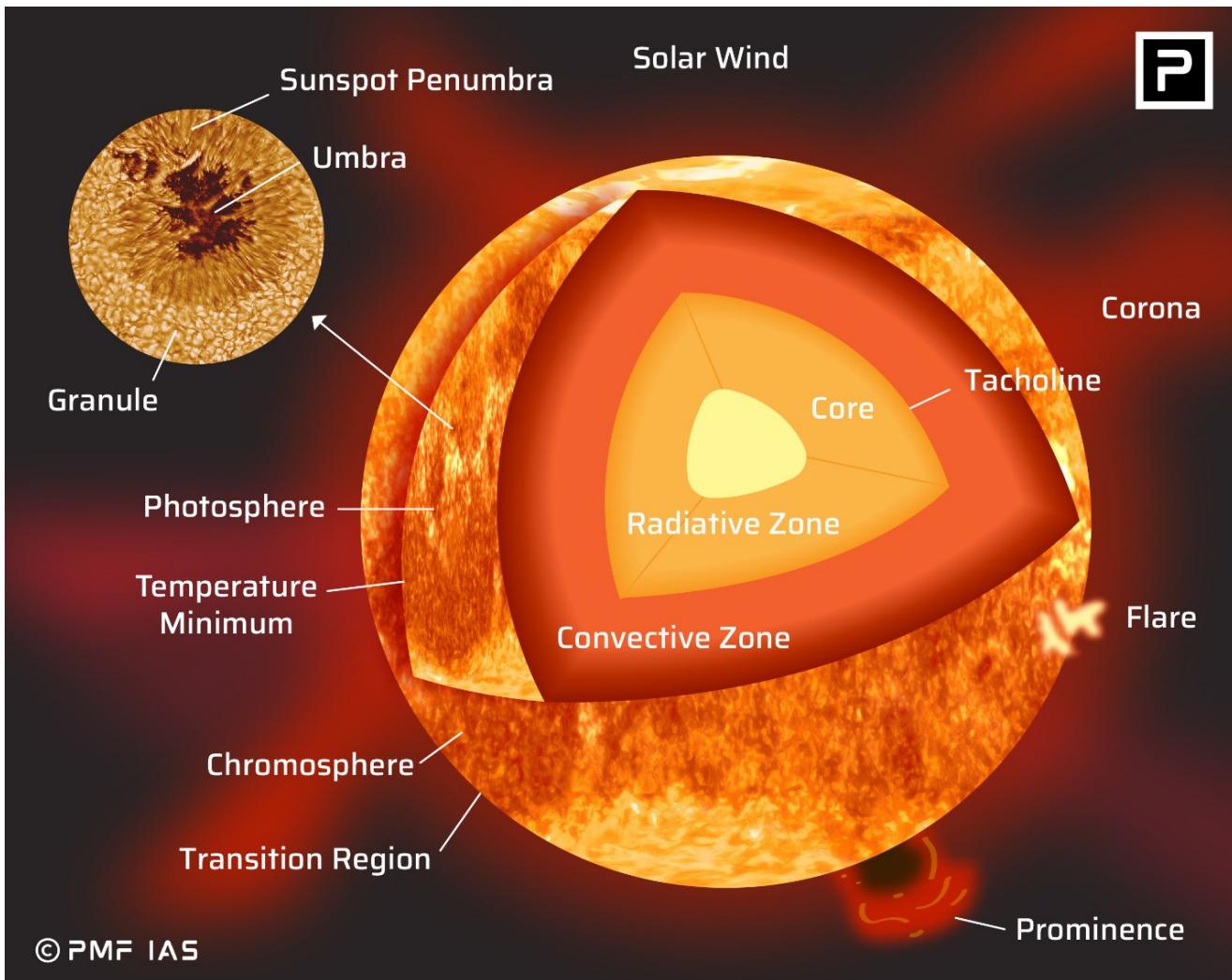
خورشید ستاره ای است که در مرکز منظومه شمسی ما قرار دارد. این ستاره یک توب غول پیکر درخشان از گاز داغ است که بیشتر از هیدروژن (تقریباً 70 درصد) و هلیوم (تقریباً 28 درصد) تشکیل شده است. قطر خورشید حدود 1.4 میلیون کیلومتر است که تقریباً 109 برابر قطر زمین است و جرم آن تقریباً 330000 زمین دارد، گرما و نور را فراهم می کند که برای فرآیندهای مختلف بیولوژیکی و

آب و هوای کلی سیاره ضروری است. جرم خورشید آنقدر زیاد است که 99.86 درصد از کل جرم و حجم منظومه شمسی را تشکیل می‌دهد. جرم کره زمین تنها 0.17 درصد از جرم این منظومه را شامل می‌شود. ساختار آن در شکل 9 به تصویر کشیده شده است و برخی از ویژگی‌های آن در جدول 1 اشاره شده است.

سطح خورشید از لکه‌های تاریکی به نام لکه‌های خورشیدی پوشیده شده است که مناطقی با فعالیت مغناطیسی شدید هستند. در بالای فتوسفر (بیرونی ترین لایه خورشید)، جو خورشید قرار دارد که از چندین لایه تشکیل شده است. اولین لایه از جو خورشید لایه کروموسفر است و بعد از آن ناحیه گذار و سپس بیرونی ترین لایه به اسم تاج قرار دارد. دما در کروموسفر (اولین لایه از جو خورشید) از حدود 4500 درجه سانتیگراد (8132 درجه فارنهایت) شروع می‌شود و با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد به شکلی که در ناحیه گذار به صورت جهشی افزایش می‌یابد و تا میلیون‌ها درجه سلسیوس می‌رسد. تاج خورشید تا میلیون‌ها کیلومتر در فضا گسترش می‌یابد و هنگام خورشید گرفتگی کامل، به صورت هاله‌ای ضعیف و سفید مرواریدی از زمین دیده می‌شود. خورشید همچنین یک جریان ثابت از ذرات باردار به نام باد خورشیدی ساطع می‌کند که در سراسر منظومه شمسی گسترش می‌یابد. گاهی اوقات، خورشید فوران‌های عظیم پلاسما و میدان‌های مغناطیسی را منتشر می‌کند که به عنوان شعله‌های خورشیدی و پرتاپ جرم تاجی<sup>15</sup> شناخته می‌شوند. این‌ها می‌توانند بر آب و هوای فضایی زمین تأثیر بگذارند و باعث ایجاد طوفان‌های ژئومغناطیسی شوند.

---

<sup>15</sup> Coronal mass ejections (CMEs)



شکل ۹: ساختار ستاره خورشید [9]

جدول ۱: برخی از ویژگی های ستاره خورشید [9]

Age	billion years 4.6
surface gravity	m/s <sup>2</sup> (28 times the gravity of the Earth)

Speed of rotation	km/h (earth's rotational velocity is 1675Km/h)
Period of rotation	days 9 h 25
Rotation	counter clockwise (when viewed from a long way above Earth's north pole)
Composition	of the sun is hydrogen & helium 98%
Mean distance from the Earth	149600000 km (the astronomic unit, AU)
Diameter	1392000 km (109 × that of the Earth)
Volume	1300000 × that of the Earth
Mass	$1.99 \times 10^{27} \text{ kg}$ (332000 times that of the Earth)
Density (at the center)	$\textcolor{red}{\sim} 10^5 \text{ kg m}^{-3}$ (over 100 times that of water)
Density (at the surface)	(times that of water 1.41) $\text{kg m}^{-3}$ 1410
Pressure (at the center)	over 1 billion atmospheres
Temperature (at the center)	about 15000000 °C
Temperature (at the surface)	5500 °C
Energy radiation	$3.8 \times 10^{26} \text{ W}$
The Earth receives	$1.7 \times 10^{18} \text{ W}$

انرژی خورشید از طریق فرآیندی به نام همچو شی هسته‌ای تولید می‌شود که در آن اتم‌های هیدروژن ترکیب می‌شوند و هلیوم را تشکیل می‌دهند و مقدار زیادی انرژی به صورت نور و گرما در این فرآیند آزاد می‌کنند. فرآیند همچو شی هسته‌ای در سایر ستارگان بیز رخ می‌دهد. یعنی سوخت مورد استفاده خورشید هیدروژن می‌باشد. اگر سوخت خورشیدی به اتمام برسد، قطعاً زندگی در منظومه شمسی به انتهای رسد. ولی میلیاردها سال طول می‌کشد تا همه سوخت خورشید به اتمام برسد. به همین دلیل انرژی خورشیدی را یک انرژی تجدیدپذیر می‌نامند. فرآیند همچو شی هسته‌ای در داخل خورشید بسیار فراهم است. دمای این ستاره حدود 15 میلیون درجه سانتیگراد (27 میلیون درجه فارنهایت) تخمین زده می‌شود و به دلیل جرم عظیم خورشید فشار در داخل آن بسیار زیاد است. هسته خورشید به قدری متراکم است که تشعشع نمی‌تواند آزادانه حرکت کند، اما به طور مداوم جذب و بازتاب می‌شود، به طوری که 10000 تا 170000 سال طول می‌کشد تا تابش به سطح خورشید برسد!

در طول همچو شی هسته‌ای در خورشید، طبق معادله نظریه معروف

نسبیت خاص اینشتین<sup>16</sup> جرم به انرژی تبدیل می‌شود. اگرچه مقدار کمی از جرم در هر همچوشهایی به انرژی تبدیل می‌شود، ولی بر اساس این نظریه معروف انرژی آزاد شده حتی به ازای جرم بسیار کوچک هم، بسیار عظیم است.<sup>17</sup>. مثلاً 167 گرم از یک ماده معادل 11.4 میلیارد کیلو وات انرژی می‌باشد. این انرژی، انرژی الکتریسیته مورد نیاز برای یک کشور بزرگ مثل امریکا با 340 میلیون نفر جمعیت (در آگوست 2023) برای یک سال می‌باشد! اگرچه فرایند تبدیل انرژی هسته ای دشوار و حساس می‌باشد و این امر به راحتی ممکن نیست. شکل 10 یک شماتیک از فرایند همچوشهایی در خورشید را نشان می‌دهد.

<sup>16</sup> نظریه نسبیت خاص اینشتین چگونگی ارتباط فضا و زمان را با اشیاء که با سرعتی متدامن در خط راست حرکت می‌کنند، توضیح می‌دهد. یکی از مشهورترین جنبه‌های این نظریه به اشیاء در حال حرکت با سرعت نور می‌پردازد. معادله  $E=mc^2$  آلبرت اینشتین نشان می‌دهد که جرم و انرژی می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند. این معادله بیان می‌کند که انرژی برابر جرم در محدود سرعت نور است.

<sup>17</sup> در هسته خورشید، هسته‌های هیدروژن (پروتون‌ها) تحت یک سری واکنش‌های همچوشهایی قرار می‌گیرند تا هسته‌های هلیوم را تشکیل دهند. رایج ترین واکنش همچوشهایی در خورشید، واکنش زنجیره ای پروتون-پروتون است که شامل چندین مرحله است. در مرحله اول، دو پروتون با هم ترکیب می‌شوند و یک هسته دوتربیوم (یک پروتون و یک نوترون) با آزاد شدن یک پوزیترون (یک الکترون با بار مثبت، صد ذرات الکترون) و یک نوتربینو تشکیل می‌دهند. این واکنش را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

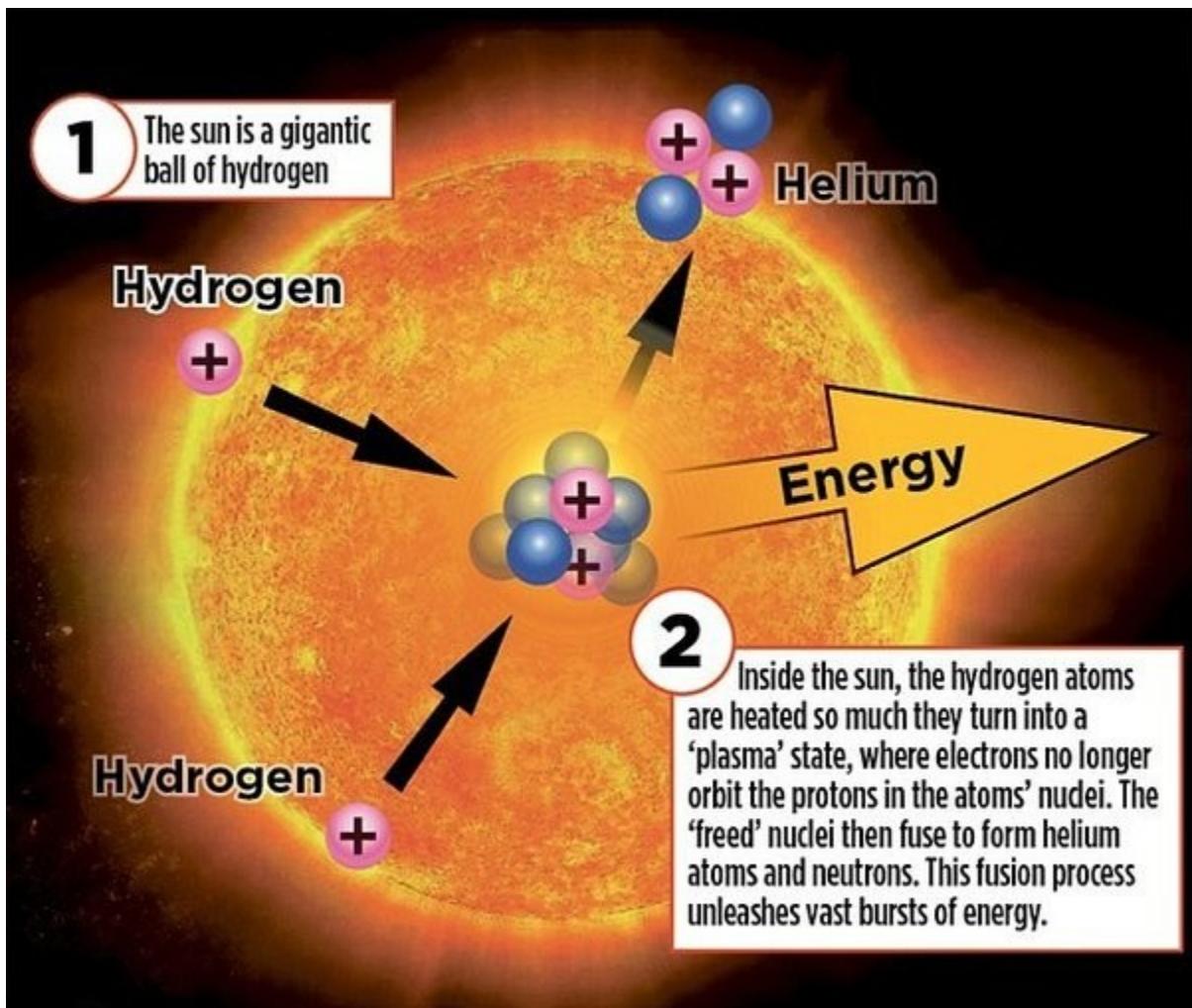


جرم دو پروتون (ذرات اولیه) کمی بیشتر از جرم هسته دوتربیوم، پوزیترون و نوتربینو (ذرات نهایی) است. این اختلاف جرم طبق معادله اینشتین به انرژی تبدیل می‌شود.

مراحل بعدی واکنش زنجیره ای پروتون-پروتون شامل ادغام تعداد بیشتری از هسته‌های دوتربیوم برای تولید هسته هلیوم است. در هر مرحله مقداری جرم به انرژی تبدیل می‌شود. واکنش کلی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:



در طول فرآیند همچوشهایی، بخش کوچکی از جرم اولیه به انرژی تبدیل می‌شود. پوزیترون‌ها با الکترون‌ها از بین می‌روند که منجر به تشعشعات اضافی می‌شود. جرم هسته هلیوم  $0.635\%$  کمتر از جرم چهار پروتون است که این اختلاف جرم طبق معادله اینشتین به انرژی تبدیل می‌شود. این انرژی به صورت نور و گرما تابش می‌شود و درخشندگی و گرمای خورشید را فراهم می‌کند.



شکل 10: تصویر همچو شی هسته ای در داخل خورشید [10]; اتم های هیدروژن به هلیوم تبدیل می شوند که طی این فرآیند مقداری از جرم اولیه به انرژی تبدیل می شود و به صورت نور و گرما (امواج الکترومغناطیس) آزاد می شود.

در هر ثانیه تقریباً 4 میلیون تن جرم در خورشید به انرژی تبدیل می شود. بر اساس آن چگالی توان در مرکز خورشید با فرضیات نظری حدود 275 وات بر متر مکعب تخمین زده می شود. به نظر می رسد مقدار جرمی که خورشید در هر ثانیه از دست می دهد زیاد است، ولی از دست دادن جرم کلی در مقایسه با جرم کل خورشید بسیار ناچیز است. خورشید تعادل جرم و انرژی خود را از طریق تبدیل مدامن هیدروژن به هلیوم در هسته خود حفظ می کند.

در فرآیند هسته ای در خورشید نوترینوها تولید می شوند. نوترینوها ذراتی

بسیار کوچک و بدون بار الکتریکی هستند و تقریباً بلافاصله پس از تولید از خورشید خارج می‌شوند. آن‌ها هم در خلاء هم در ماده بسیار نفوذپذیر هستند و در طول مسیر حرکت خود تقریباً هیچ تعاملی با مواد در این مسیر ندارند. نوترینوها در خورشید به سختی با ماده تعامل دارند و بنابراین می‌توانند بدون هیچ مانعی از هسته خورشید خارج شوند. در هر ثانیه حدود  $6.5 \times 10^{10}$  نوترینو در هر سانتی متر مربع از زمین عبور می‌کنند که در نتیجه از بدن ما نیز عبور می‌کنند. نوترینوها حدود 2 درصد از کل انرژی تابش شده توسط خورشید تشکیل می‌دهند. باقیمانده تابش به صورت تابش الکترومغناطیسی آزاد می‌شود.

بیرونی ترین لایه خورشید فوتوفر<sup>18</sup> نام دارد که به عنوان سطح خورشید می‌بینیم. این قسمت شبیه یک جسم سیاه رفتار می‌کند و منبع تابش خورشیدی است که به زمین برخورد می‌کند. جسم سیاه یک جسم فیزیکی ایده‌آل است که تمام تشعشعات الکترومغناطیسی ورودی را بدون بازتاب یا انتقال جذب می‌کند. در حالی که خورشید دارای چندین ویژگی مشترک با جسم سیاه است، اما کاملاً با مدل ایده‌آل آن مطابقت ندارد. عوامل دنیای واقعی مانند اجزای تشکیل دهنده خورشید، میدان‌های مغناطیسی و اثرات جوی بر رفتار و خواص طیفی خورشید تأثیر می‌گذارند. به این دلیل دمای آن زرد به نظر می‌رسد و دمای سطح متوسط آن حدود 5500 درجه سانتیگراد (9932 درجه فارنهایت) است. ثابت خورشیدی به چگالی توان کل تابش خورشید در فاصله متوسط بین زمین و خورشید در صفحه ای عمود بر جهت خورشید گفته می‌شود که مقدار آن تقریباً  $1361 \text{ W/m}^2$  است.

قانون استفان بولتزمن<sup>19</sup> بیان می‌کند که با افزایش دمای جسم سیاه، انرژی بیشتری به صورت تصاعدی و با توان چهارم در واحد سطح ساطع می‌شود. یعنی هر چه دمای یک جسم بیشتر شود، شدت تابش مربوطه بیساز بیشتر و با توان چهارم افزایش می‌یابد. این رابطه برای درک پدیده‌های مختلف مرتبط با تابش حرارتی، مانند انرژی خروجی ستاره‌ها، گرم شدن اجسام و توزیع دمای

<sup>18</sup> Photosphere

<sup>19</sup> یکی از قوانین بسیار مفید و کارآمد درباره تابش، قانون استفان-بولتزمن است. این قانون که به افتخار فیزیکدانان جوزف استفان و لوڈویگ بولتزمن نامگذاری شده است، کل انرژی تابش شده توسط یک جسم سیاه کامل را به دمای آن مرتبط می‌کند. این قانون بیان می‌کند که مجموع توان تابشی گسیل شده در واحد سطح یک جسم سیاه با توان چهارم دمای مطلق آن نسبت مستقیم دارد. از نظر ریاضی می‌توان آن را به صورت زیر بیان کرد:

$$P = \sigma A T^4$$

که در آن  $P$  نشان دهنده توان تابشی یا کل انرژی ساطع شده در واحد زمان است،  $A$  سطح جسم سیاه است،  $T$  دمای جسم سیاه بر حسب کلوین و  $\sigma$  ثابت استفان-بولتزمن است. این قانون نشان می‌دهد که با افزایش دمای جسم سیاه، انرژی بیشتری به صورت تصاعدی و با توان چهارم در واحد سطح ساطع می‌شود.

سیارات ضروری است. شایان ذکر است که در حالی که قانون استفان بولتزمن برای اجسام سیاه ایده آل استخراج شده است، توصیف دقیقی از رفتار اجسام واقعی ارائه می دهد که جذب کننده و ساطع کننده تابش هستند.

درک رفتار خورشید و مطالعه پدیده های مختلف آن برای اکتشافات فضایی، ارتباطات ماهواره ای و پیش بینی رویدادهای جوی فضا که می توانند بر فناوری و زیرساخت های روی زمین تأثیر بگذارند، بسیار مهم است. دانشمندان از تلسکوپ ها، ماهواره ها و سایر ابزارها برای مشاهده و تجزیه و تحلیل فعالیت خورشید استفاده می کنند و بینش های ارزشمندی را در مورد فیزیک ستاره ها و ماهیت جهان ما ارائه می دهند. دانشمندان همچنین روی زمین فعالانه روی توسعه همجوشی هسته ای کنترل شده به عنوان یک منبع انرژی بالقوه پاک و تقریبا نامحدود کار می کنند. با این حال، تکرار شرایط هسته خورشید به شیوه ای کنترل شده یک چالش علمی و مهندسی مهم است که هنوز به طور کامل بر آن غلبه نشده است.

### 1.4.3 کلیاتی درباره انرژی خورشیدی

یکی از حامل های انرژی تجدیدپذیر انرژی خورشیدی است. تکنولوژی انرژی خورشیدی از دو روش استفاده از سلول های فتوولتائیک و توان خورشیدی متمرکز، نور خورشید را به الکتریسیته تبدیل می کند. این روش ها در قسمت های بعدی توضیح داده شده است. این فناوری در سال های اخیر به طور فزاینده ای به نسبت مقرنون به صرفه شده است و آن را به گزینه ای جذاب برای صاحبان خانه و مشاغلی تبدیل می کند که به دنبال استقلال از سوخت های فسیلی هستند. اگر نور خورشید مستقیماً با استفاده از دستگاه های مبتنی بر مواد نیمه هادی به الکتریسیته تبدیل شود، آن را فتوولتائیک می نامیم. راندمان معمولی مازول های خورشیدی در محدوده 15-20٪ است. نور خورشید همچنین می تواند به گرما تبدیل شود که این کاربرد انرژی حرارتی خورشیدی یا توان خورشیدی متمرکز<sup>20</sup> نامیده می شود. به عنوان مثال آب و یا یک سیال دیگر می تواند از طریق نور خورشید که یک ماده جاذب سیاه واسطه است، گرم شود. از این سیال گرم می توان برای گرمایش ساختمان ها و یا حتی سرمایش استفاده کرد. از سیستم های انرژی خورشیدی متمرکز سیال با دمای چند صد درجه به دست می آید، که برای تولید بخار و در نتیجه به حرکت درآوردن یک توربین بخار و به دنبال آن یک ژنراتور،

<sup>20</sup> Concentrated Solar Power (CSP)

برای تولید برق کاربردی است. در کنار تولید گرما و برق، انرژی خورشیدی می‌تواند به انرژی شیمیایی نیز تبدیل شود. این تکنولوژی سوخت خورشیدی<sup>21</sup> نامیده می‌شود. برای تولید سوخت‌های خورشیدی، فتوولتائیک‌ها و پیل‌های سوختی احیا کننده<sup>22</sup> را می‌توان با هم ترکیب کرد. علاوه بر این، نور خورشید نیز می‌تواند مستقیماً با استفاده از دستگاه‌های فوتوالکتروشیمیایی به سوخت تبدیل شود. در ادامه با جزئیات در مورد مازول‌های فتوولتائیک و توان خورشیدی متمرکز بحث شده است.

انرژی خورشیدی منبع انرژی تجدید پذیر و فراوانی است که از پرتوهای خورشید حاصل می‌شود. به عنوان یک راه حل انرژی پاک برای مبارزه با تغییرات آب و هوا و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی دارای جذابیت روز افزون می‌باشد. فناوری‌های مختلفی برای استفاده انرژی خورشیدی وجود دارد که در بخش‌های بعدی به آن‌ها پرداخته شده است.

امروزه، انرژی خورشیدی به نسبت سهم کمی از تولید انرژی برق را در جهان دارد. در سال 2021 این سهم حدود 3.74 درصد از تولید برق جهانی می‌باشد. اما میزان رشد این سهم در مقایسه با سایر منابع تولید الکتریسیته بسیار حائز اهمیت است و با این نرخ رشد پیش‌بینی می‌شود که این انرژی تا اواسط قرن نقش بسیار مهمی در سیستم انرژی جهانی ایفا کند. به دلیل حذف چندین مانع مهم در چند دهه آینده برای انرژی خورشیدی، احتمال اینکه این انرژی قادر به پاسخگویی به نیازهای مهم باشد، به شدت افزایش خواهد یافت. هدف این مطالعه راه اندازی سیستم‌های خورشیدی مناسب، کمک به تصمیم‌گیرندگان درباره انرژی خورشیدی در آینده، شناخت موافعی که ممکن است فناوری‌های خورشیدی را از دستیابی این پتانسیل بازدارند و سیاست‌های عمومی مناسبی که می‌توانند موافع و مشکلات فعلی را کاهش دهند، می‌باشد.

اهمیت روز افزون انرژی خورشیدی ناشی از کاهش و کمبود سوخت‌های فسیلی در آینده و تهدید طولانی مدت عمیق ناشی از تغییرات آب و هوایی جهانی است. انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی باعث تغییرات آب و هوایی و گرم شدن کره زمین می‌شوند. کربن دی‌اکسید بیشترین سهم از گازهای گلخانه‌ای موجود در اتمسفر را تشکیل می‌دهد که از زمان انقلاب صنعتی با نرخ روزافزونی در حال افزایش است. تقریباً دو سوم انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از سوخت‌های فسیلی مربوط به تولید برق، گرمایش و حمل و نقل می‌باشد.

<sup>21</sup> Solar fuels

<sup>22</sup> regenerative

باشد. برای کاهش مشکلات مربوط به تغییرات آب و هوایی اقلیمی و محیط زیستی باید نسبت انتشار کربن دی اکسید به مصرف جهانی انرژی به میزان قابل توجه و مناسب با رشد اقتصادی جهانی، کاهش یابد.

انرژی خورشیدی این پتانسیل را دارد که نقش مهمی در آینده تامین نیازهای انرژی ایفا کند. تکنولوژی استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید برق با انتشار کربن دی اکسید بسیار کم تا حد قابل قبولی توسعه یافته است و استفاده از برق برای صنعت، حمل و نقل، تامین گرمایش و ... قبل شفاف شده است. علاوه بر این، منبع انرژی خورشیدی بسیار فراوان است، که می‌تواند بخش اعظمی از مصرف انرژی جهانی را تامین کند و از میزان پتانسیل سایر منابع انرژی تجدیدپذیر بیشتر است. در ادامه در این باره بیشتر بحث می‌کنیم. البته باید توجه داشت که برخی از گازهای گلخانه‌ای در طول نصب، نگهداری و از کار انداختن سیستم‌های انرژی خورشیدی تولید می‌شوند، اما مقدار آن‌ها بسیار کمتر از انتشار گازهای مضر مربوط به سوخت‌های فسیلی است. یک راه موثر برای کاهش انتشار کربن دی اکسید همزمان با رشد مصرف انرژی، افزایش چشمگیر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مخصوصاً انرژی خورشیدی برای تولید برق، حمل و نقل، گرمایش، سرمایش و سایر کاربردها خواهد بود.

آزادی بین‌المللی انرژی به دلیل واکنش جهانی به خطرات تغییرات آب و هوایی اخیراً رویکردهای مختلفی را ارائه کرده است. برنامه ریزی به این شکل است که انتشار کربن دی اکسید در حین تبدیل انرژی در سال 2050 به کمتر از نیمی از مقدار آن در سال 2011 کاهش یابد. آزادی بین‌المللی انرژی پیش‌بینی می‌کند که کاهش انتشار با هزینه کمتری تحقق می‌یابد و یکی از سناریوهای در نظر گرفته شده این است که رشد انرژی هسته‌ای توسط عوامل غیراقتصادی محدود می‌شود. این آزادی پیش‌بینی می‌کند که تقاضای جهانی برای برق بین سال‌های 2011 تا 2050 به میزان 79 درصد افزایش می‌یابد. انرژی بادی، هیدرودینامیکی و خورشیدی 66 درصد از تولید برق جهانی در سال 2050 را به خود اختصاص می‌دهند، و انرژی خورشیدی به تنها ی 27 درصد از الکتریسیته جهان را تامین می‌کند. به احتمال زیاد در آینده استفاده روزافزون از سیستم‌های برق آبی به دلیل زیست محیطی محدود شود، در این صورت انرژی خورشیدی باید نقش بیشتری در تأمین برق جهانی داشته باشد تا کربن دی اکسید کمتری منتشر شود. امروزه مشکلات زیست محیطی توسعه تاسیسات برق آبی در بسیاری از کشورهای دنیا وجود دارد و پیش‌بینی می‌شود که این مشکلات در آینده حادتر شود.

در ادامه به سه مانع پیشرفت سیستم های خورشیدی می پردازیم که عبارتند از: هزینه، مقیاس پذیری<sup>23</sup> و متناوب بودن. اولا، هزینه بر قب خورشیدی در سال های اخیر به شدت کاهش یافته است و می توان انتظار داشت که در آینده هم کاهش بسیار بیشتری خواهد داشت. اکنون در بسیاری از کشورها استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید برق همچنان گران تر از استفاده از سیستم های تولید برق با سوخت فسیلی است.

علاوه بر آن، انرژی خورشیدی از نظر هزینه مصنوعی ضرر دارد، زیرا استفاده کنندگان انرژی فسیلی هیچ خساراتی برای انتشار کردن دی اکسید و سایر گازهای تولید شده پرداخت نمی کنند. اعمال چنین سناریو و سیاست های جامع برای استفاده کنندگان، می تواند انتشار گازهای گلخانه ای و مضر را تا حد زیادی کاهش دهد. اگر میزان استفاده از انرژی خورشیدی افزایش یابد، هزینه متوسط برق خورشیدی کاهش می یابد، زیرا در ساعات آفتابی و مخصوصا ساعات پیک تابش خورشیدی که بیشترین انرژی خورشیدی تولید می شود، هزینه های تامین این انرژی خورشیدی کاهش می یابد. این یعنی اینکه که حتی در جایی که تولید خورشیدی از تولید انرژی فسیلی گران تر و یا برابر است، هزینه آن باید به میزان قابل توجهی کاهش یابد تا بتواند در سطوح بالاتر استفاده مقرن به صرفه باشد.

دوما، اگر انرژی خورشیدی تا اواسط قرن حاضر به منبع اصلی تولید تولید برق تبدیل شود، تکنولوژی خورشیدی، صنعت و زنجیره تامین آن باید توسعه بسیار زیادی داشته باشد. در سناریوی آژانس بین المللی انرژی میزان تولید برق خورشیدی تا سال 2050 به بیش از 50 برابر میزان سال 2013 افزایش می یابد. البته توسعه برخی از فناوری های خورشیدی به دلیل مواد کمیاب دچار مشکل می شود. افزایش مقیاس تولید به این بزرگی احتمالاً از نظر اقتصادی مشکل باشد. براساس مواردی که تاکنون مشاهده شده است، احتمالاً محدودیت های مواد مانند سیلیکون برای صنعت نوظهور انرژی خورشیدی اصلا تهدید جدی نیست.

سوم، انرژی خورشیدی متناوب و غیر پایا است: یکی از ویژگی های تابش خورشیدی غیر قابل پیش بینی بودن و متناوب بودن آن است. این ویژگی یکی از موانع بزرگ برای استفاده از انرژی خورشیدی در مقیاس بزرگ و غیر قابل اطمینان بودن است. مطابقت بین میزان تولید و تقاضا برای سیستم های برق اهمیت دارد. علاوه بر اینکه نوسانات تولید قابل پیش بینی نیستند، نوسانات تقاضا نیز به طور کامل قابل پیش بینی نیستند. تولید انرژی خورشیدی در مقیاس کوچک مشکل بزرگی ایجاد نمی کند. اما در یک سیستم قدرت که به شدت به انرژی

<sup>23</sup> Scaling

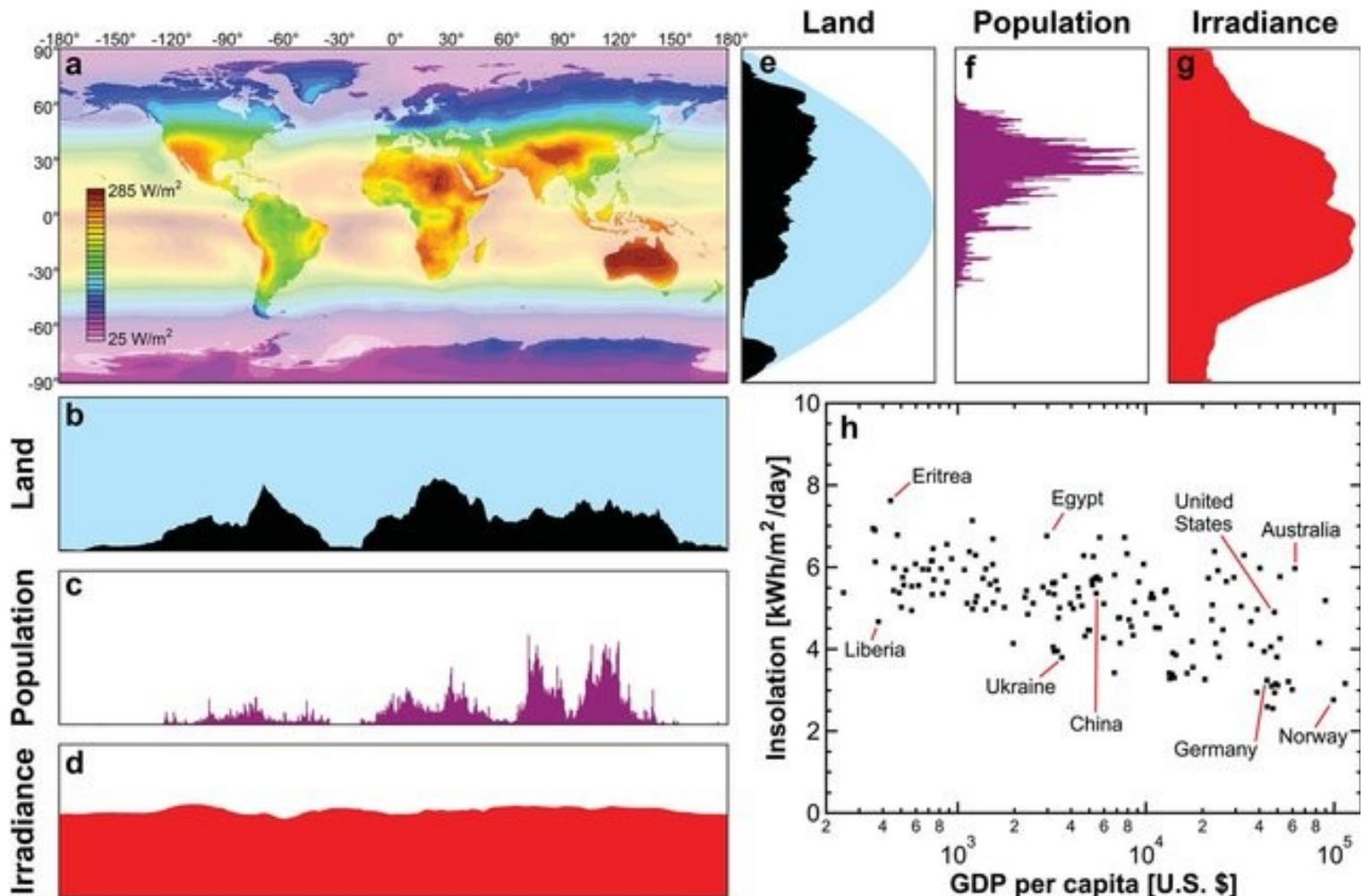
خورشیدی وابسته است، متناوب بودن منبع خورشیدی باعث می شود که بار خالص<sup>24</sup> (میزان انرژی برق که باید توسط منابع انرژی تامین شود) متغیرتر و کمتر قابل پیش بینی باشد. در مقیاس کوچکتر بر اساس سناریوی آژانس بین‌المللی انرژی، اکثر سیستم‌ها می‌توانند با استفاده از ژنراتورهای انعطاف‌پذیرتر با سوخت فسیلی، مشکل متناوب بودن انرژی خورشید و متغیر بودن بار تولید و تقاضا را برطرف کنند. با این حال، معمولاً بیشتر سیستم‌های انرژی، مخصوصاً اگر انرژی خورشید در مقیاس قابل توجه استفاده شود، توسعه فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی در مقیاس بزرگ نیاز است.

بر اساس هر استانداردی که بررسی شود، منبع انرژی خورشیدی بسیار عظیم است. امروزه درصد بسیار کمی از مساحت کشورهای جهان برای نیروگاه‌های خورشیدی استفاده می‌شود. برای مثال در ایالات متحده امریکا حداقل یک سوم مساحت کشور برای تولید ذرت استفاده می‌شود که از آن اتابول تولید می‌کنند. این تنها 7 درصد انرژی کشور برای تولید بنزین را تامین می‌کند. در حالی که اگر تنها 0.4 درصد از مساحت کشور برای نیروگاه‌های خورشیدی اختصاص داده شود و این نیروگاه‌ها نصف ظرفیت تابش خورشید سالانه را دریافت کنند، کل انرژی کشور برای یک سال تامین می‌شود. مساحت استفاده برای نیروگاه خورشیدی در امریکا در سال 2021 0.027 میلیون (1034 مایل مربع از 3.8 میلیون مایل مربع به نیروگاه‌های خورشیدی اختصاص داده شده است).

در مقیاس جهانی، منابع خورشیدی علاوه بر اینکه فراوان می‌باشند، به طور گسترده‌هم توزیع شده است. هر جایی که مردم حضور دارند، نور خورشید هم در دسترس است.

نقشه‌ای از توزیع منبع انرژی خورشیدی کره زمین را نشان می‌دهد. همچنین هیستوگرام‌های مساحت زمین، جمعیت و متوسط تابش خورشیدی به عنوان تابعی از طول و عرض جغرافیایی نشان داده شده است. قابل توجه است که بر اساس نقشه و تصاویر ارائه شده، هیچ کدام از منابع دیگر مانند سوخت فسیلی و مکان‌های خوب برای تولید باد یا برق آبی، به این اندازه مناسب پخش نشده‌اند.

<sup>24</sup> Net load



شکل ۱۱: توزیع منبع انرژی خورشیدی در دنیا [11]

(a) متوسط شدت تابش خورشید برای نقاط مختلف کره زمین نشان می‌دهد. شکل (b) میزان سطح خشکی‌ها (نواحی مشکی خشکی و نواحی آبی رنگ)، اقیانوس‌ها را نشان می‌دهد (شکل (c) جمعیت و شکل (d) متوسط تابش متوسط خورشید را در امتداد طول جغرافیایی نشان می‌دهد. شکل‌های e تا g این موارد را در امتداد عرض جغرافیایی نشان می‌دهند. شکل h رابطه بین تابش متوسط و

تولید ناخالص داخلی سرانه<sup>25</sup> را برای کشورهای سراسر جهان برای سال 2011 نشان می دهد. بازه تغییرات تولید ناخالص داخلی بیشتر از بازه تغییرات متوسط شدت تابش خورشیدی می باشد و کشورهای با وضعیت اقتصادی پایین هم دارای دسترسی مناسبی به انرژی خورشیدی هستند. همچنین مشاهده می شود در نواحی از کره زمین که جمعیت زیاد است، شدت تابش خورشیدی هم بیشتر می باشد. در ایالات متحده امریکا جنوب غربی آن، در قاره اروپا و آسیا جنوب آن ها و در قاره های استرالیا و افریقا تقریباً تمامی نواحی به دلیل تابش خورشیدی بیشتر، مکان های مناسبی برای نیروگاه های خورشیدی می باشند.

## 1.4.4 تکنولوژی های استفاده از انرژی

### خورشیدی

در سال های اخیر، ضرورت انتقال به منابع انرژی پایدار و سازگار با محیط زیست به وضوح آشکار شده است. یکی از بهترین روش های دستیابی به این اهداف استفاده از انرژی خورشیدی از راه های مختلف می باشد. برای استفاده از انرژی خورشیدی فناوری و ابزارهایی نیاز است. در حالت کلی پنج تکنولوژی برای استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارند. این پنج تکنولوژی عبارتند از: سیستم های فتوولتائیک<sup>26</sup> (معمولی و نازک)، انرژی خورشیدی متمرکز<sup>27</sup> یا انرژی حرارتی خورشیدی<sup>28</sup>، گرمایش و سرمایش خورشیدی<sup>29</sup>، سوخت های خورشیدی<sup>30</sup> و طراحی غیرفعال خورشیدی<sup>31</sup>. در این بخش انواع مختلف فن آوری های انرژی خورشیدی توضیح داده شده است و سیستم های فتوولتائیک و انرژی خورشیدی متمرکز (یا انرژی حرارتی خورشیدی) مفصل تر مورد بررسی قرار گرفته است. کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی برای هر یک از این فناوری ها در قسمت های

<sup>25</sup> (GDP) Gross Domestic Product per capita): تولید ناخالص داخلی (GDP) معیاری از ارزش کل کالاها و خدمات تولید شده در داخل مرزهای یک کشور در یک دوره زمانی خاص (معمولًا یک سال) است. این شامل ارزش کالاها و خدمات تولید شده توسط نهادهای داخلی و خارجی در داخل مرزهای کشور است. در زمینه انرژی خورشیدی، از تولید ناخالص داخلی می توان برای ارزیابی تاثیر اقتصادی انرژی خورشیدی بر یک کشور استفاده کرد. به عنوان مثال، نصب و نگهداری سیستم های انرژی خورشیدی می تواند شغل ایجاد کند و به تولید ناخالص داخلی یک کشور کمک کند. علاوه بر این، استفاده از انرژی خورشیدی می تواند منجر به کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی شود، درنتیجه به کاهش کسری تجاری یک کشور و افزایش تولید ناخالص داخلی آن کمک کند.

<sup>26</sup> Photovoltaic (PV)

<sup>27</sup> Concentrated Solar Power (CSP)

<sup>28</sup> Solar thermal energy

<sup>29</sup> Solar heating and cooling

<sup>30</sup> Solar fuels

<sup>31</sup> Passive solar design

بعدی اشاره شده است.

تصویر یک نیروگاه فتوولتائیک در چین از نمای دور را نشان می دهد. شکل 13 تصویر یک نیروگاه خورشیدی مرکز از نوع هلیوستات<sup>32</sup> را نمایش می دهد.



شکل 12: تصویر یک نیروگاه فتوولتائیک در چین از نمای دور [12]

---

<sup>32</sup> Heliostat



شکل 13: نیروگاه خورشیدی متمرکز (CSP) یا نیروگاه حرارتی خورشیدی از نوع هلیوستات (Heliostat) [13]

یک نیروگاه انرژی حرارتی خورشیدی معمولاً در مقیاس بزرگ با ظرفیت تولید مثلا 100 مگاوات<sup>33</sup> به کار گرفته می شود. این نوع نیروگاه می تواند انرژی حرارتی خورشید را برای ساعت های با نور کم خورشید و شب ذخیره کند و هر زمان که نیاز شد از انرژی ذخیره شده استفاده کند.

سیستم های فتوولتایک را می توان هم در مقیاس های بزرگ و هم در مقیاس کوچک نصب کرد. مقیاس کوچک این سیستم ها مثلا تاسیسات مسکونی فتوولتایک پشت بام های ساختمان های مسکونی می باشد که ظرفیت تولید برق آن ها معمولاً کمتر از 10 کیلووات می باشد [14]. یا مثلا یک پنل فتوولتایک کوچک که در یک منطقه دوردست انرژی الکتریکی عالم راهنمایی و رانندگی را تامین می کند. میزان تولید برق این سیستم های فتوولتایک به تغییرات شدت تابش خورشید بستگی دارد. یک سیستم فتوولتایک می تواند از تمام تابش خورشید استفاده کند و برق تولید کند، ولی سیستم انرژی خورشیدی متمرکز فقط از تابش مستقیم استفاده می کند. در نتیجه گیرنده تابش خورشید یک سیستم

<sup>33</sup> MW

انرژی خورشیدی متمرکز به وجود ابرها، مه و غبار حساس‌تر است ولی به دلیل قابلیت ذخیره بودن انرژی حرارتی در آن برق تولید شده خروجی آن نسبت به یک سیستم فتوولتائیک ثبات بهتری دارد. درنتیجه برای مناطق ابری یک نیروگاه فتوولتائیک از یک نیروگاه حرارتی خورشیدی اقتصادی‌تر است چرا که به ابزارهای ذخیره انرژی حرارتی کمتری نیاز دارد.

#### 1.4.4.1 سیستم‌های فتوولتائیک

سیستم‌های فتوولتائیک شناخته شدم ترین فناوری انرژی خورشیدی هستند. یک سلول خورشیدی نامیده می‌شود، مستقیماً نور خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کند. کلمه فتوولتائیک برای اولین بار تقریباً سال 1890 ذکر شد و از کلمات یونانی "photo" و "phos" به معنی نور و "volt" که به برق اشاره دارد، آمده است. اولین سلول‌های خورشیدی مدرن در سال 1954 تولید شد و در سال 1958 روی یک ماهواره فضایی ایالات متحده امریکا نصب شد.

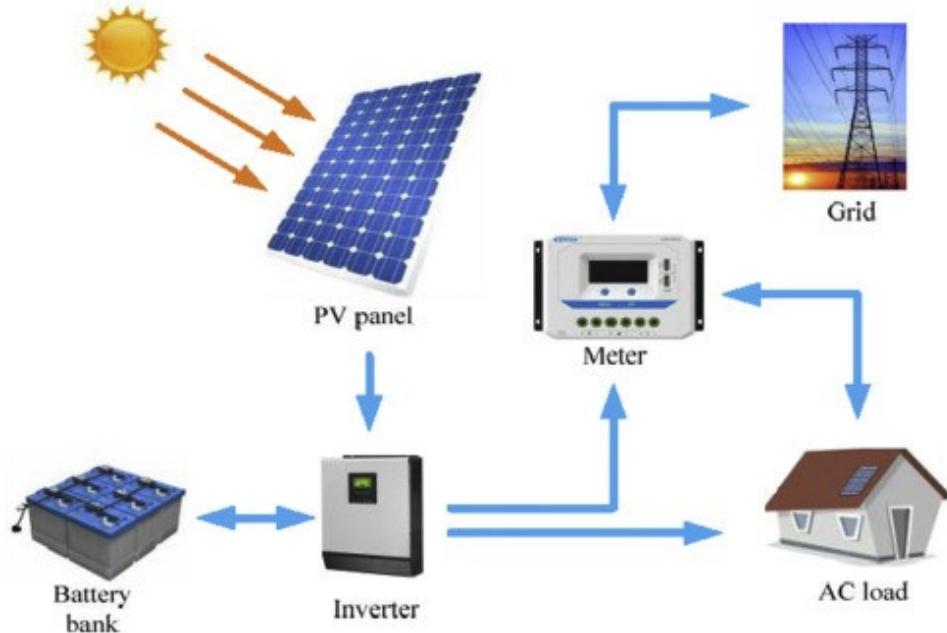
شکل 14 شماتیک اجزای تولید الکتریسیته از پنل فتوولتائیک تا مصرف آن را نشان می‌دهد و شکل 15 شماتیک اجرای یک سیستم فتوولتائیک روی بام یک خانه را توصیف می‌کند. پانل‌های فتوولتائیک بخش قابل توجهی از انرژی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. این پنل‌ها برای جذب موثر نور خورشید و تبدیل آن به برق جریان مستقیم<sup>34</sup> با ولتاژ پایین طراحی شده اند که می‌تواند توسط لوازم خانگی و دستگاه‌های الکتریکی مختلف استفاده شوند. برای اطمینان از یک منبع تغذیه مداوم و ثابت، یک جزء حیاتی در سیستم، باتری است. الکتریسیته اضافی تولید شده توسط پنل‌های فتوولتائیک در ساعات اوج خورشید باتری را شارژ می‌کند. این باتری به عنوان یک مخزن انرژی عمل می‌کند و برق اضافی را برای استفاده بعدی در زمانی که نور خورشید در دسترس نیست ذخیره می‌کند یا در زمان افزایش تقاضای انرژی می‌تواند آن را به شبکه سراسری برق بفروشد. یکی دیگر از اجزای حیاتی اینورتر هیبریدی<sup>35</sup> است که کارهای متعددی را انجام می‌دهد. اینورتر که به عنوان قلب سیستم عمل می‌کند، الکتریسیته DC تولید شده از پانل‌های فتوولتائیک را به برق جریان متناوب<sup>36</sup> تبدیل می‌کند. جریان متناوب(AC) شکل استاندارد مورد استفاده برای اکثر وسایل الکتریکی خانه‌ها می‌باشد و

<sup>34</sup> DC

<sup>35</sup> Hybrid inverter

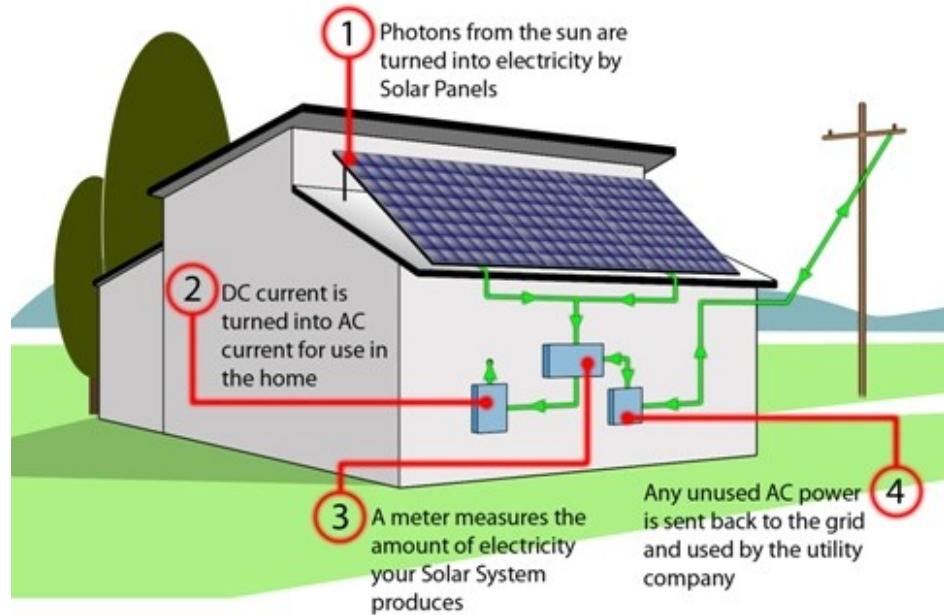
<sup>36</sup> AC

تقریباً تمام برق به صورت جریان متناوب (AC) در سیستم های انتقال و توزیع برق منتقل می شود. زمانی که سیستم PV بیش از نیازهای خانوار برق تولید می کند، توان اضافی را می توان به شبکه تغذیه کرد. این یکپارچگی با شبکه، که توسط اینورتر هیبریدی کنترل می شود، به صاحب خانه ها اجازه می دهد تا از برنامه های اندازه گیری شبکه یا تعرفه ورودی<sup>37</sup> سود کنند. مثلا در ساعات پیک مصرف که انرژی گران است، این انرژی را به شبکه بفروشند.



شکل 14: شماتیک اجزای تولید الکتریسیته از پنل فتوولتایک تا مصرف آن

<sup>37</sup> Receives credits or compensation for the exported energy



شکل 15: شماتیک اجرای یک سیستم فتوولتائیک روی بام یک خانه

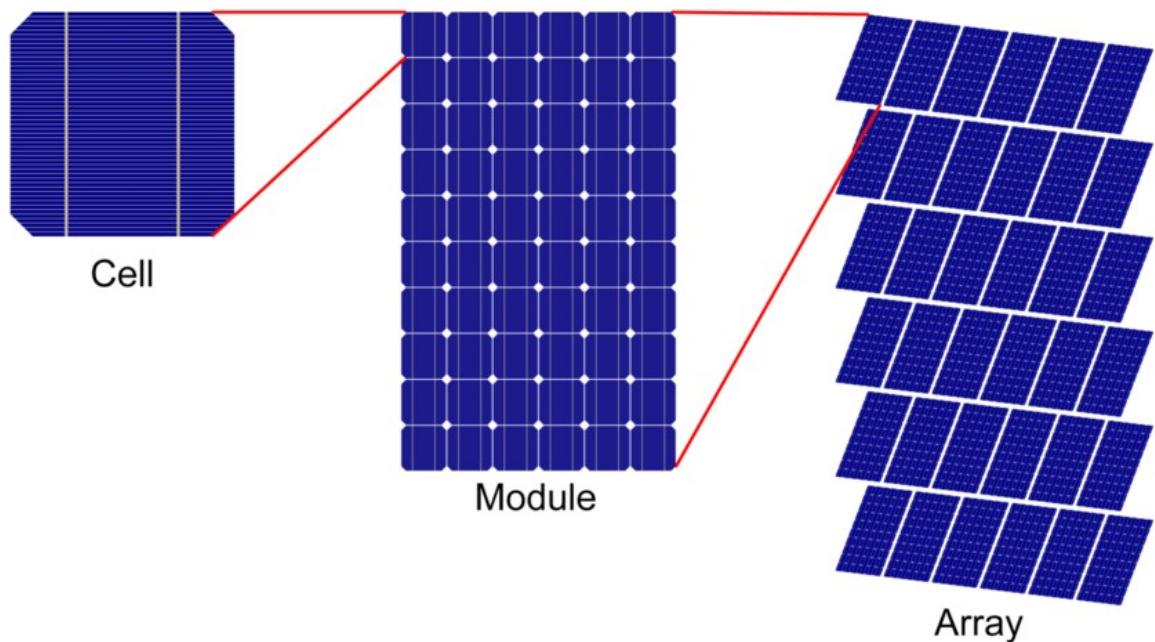
به طور خلاصه، توالی تولید برق در یک سیستم فتوولتائیک در پشت بام خانه و یا یک نیروگاه بزرگ فتوولتائیک شامل تبدیل انرژی خورشید به الکتریسیته DC از طریق پانل های فتوولتائیک، ذخیره انرژی اضافی در باتری ها برای استفاده در آینده، تبدیل اینورتر هیبریدی برق DC به AC است. این فرآیند به صاحبان خانه اجازه می دهد تا انرژی پاک خود را تولید کنند، از این کار کسب درامد کنند، به پایداری محیط زیست کمک کنند و به سمت آینده ای سبزتر پیش بروند.

یک سلول فتوولتائیک معمولاً کوچک است (تقریباً چند سانتی متر) و حدود 1 یا 2 وات توان جریان مستقیم<sup>38</sup> تولید می کند. این سلول ها از مواد نیمه هادی مختلف ساخته می شوند و اغلب ضخامت آن ها کمتر از چهار تار موی انسان هستند. برخی از سلول های فتوولتائیک می توانند نور مصنوعی را به الکتریسیته تبدیل کنند. ساختار تشكیل دهنده یک آرایه خورشیدی در شکل 16 نشان داده شده است. یک آرایه خورشیدی که برای تولید توان بالا استفاده می شود، از تعدادی مازول<sup>39</sup> تشکیل شده است. خود مازول هم از تعدادی سلول خورشیدی تشکیل شده است که می توانند به صورت سری و موازی به هم متصل شوند. بازده این مازول ها در سرما یعنی فصل زمستان بیشتر از فصل تابستان است و

<sup>38</sup> DC

<sup>39</sup> Module

به مرور زمان بازده آن ها مثل باتری ها کاهش می یابد. بازده این مژول ها بر اساس تکنولوژی ساخت متفاوت است ولی به طور متوسط 20 درصد است.



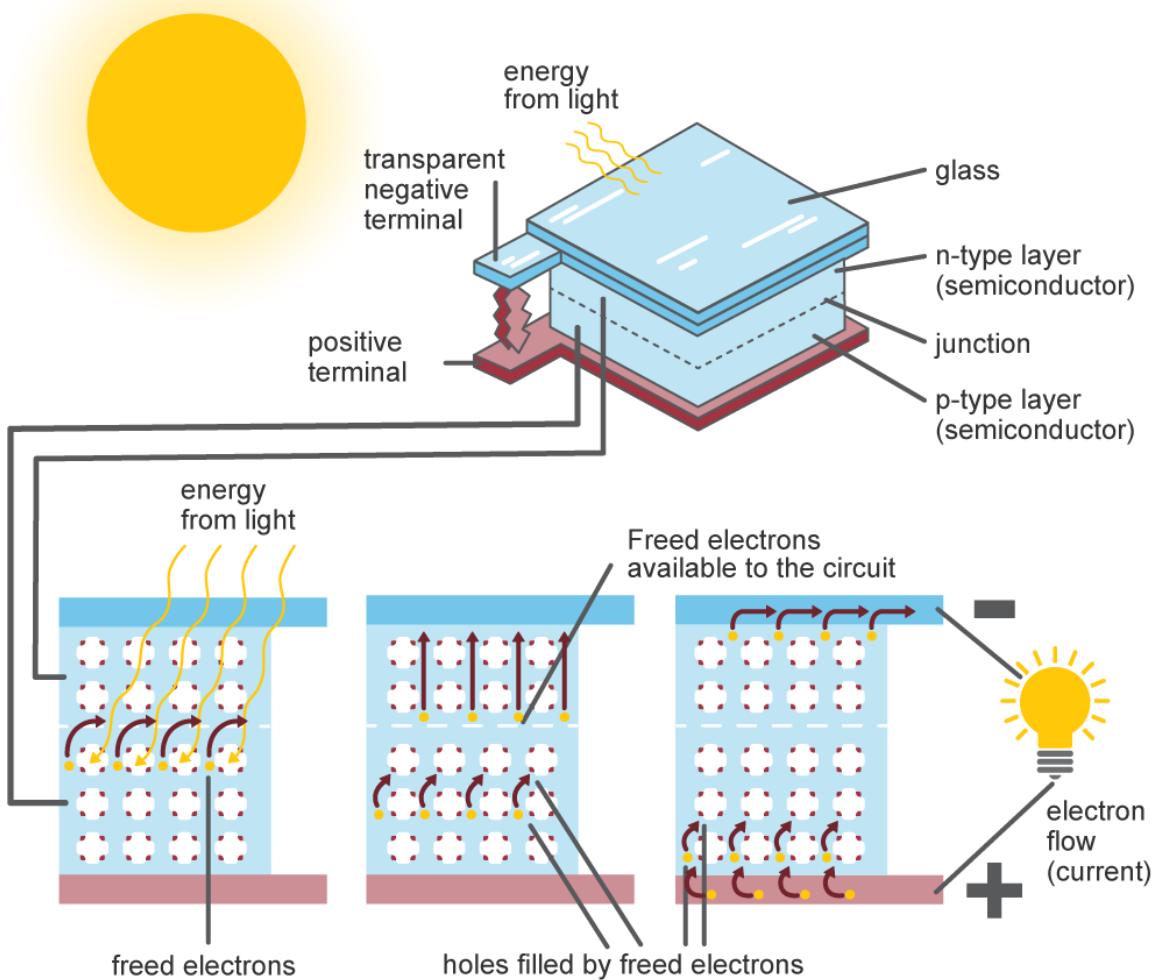
شکل 16: سلول، پل (ماژول) و آرایه خورشیدی [15]

نور خورشید از فوتون ها یا ذرات انرژی خورشیدی تشکیل شده است. این فوتون ها حاوی مقادیر مختلفی از انرژی هستند. هنگامی که فوتون ها به سلول فتوولتائیک برخورد می کنند، ممکن است از سلول منعکس شوند، از سلول عبور کنند یا توسط مواد نیمه هادی<sup>40</sup> جذب شوند. فقط فوتون های جذب شده انرژی برای تولید الکتریسیته فراهم می کنند. هنگامی که مواد نیمه هادی به اندازه کافی نور خورشید را جذب می کنند، الکترون ها از اتم های ماده خارج می شوند. رفتار ویژه سطح ماده در حین ساخت باعث می شود سطح جلوی سلول پذیرای الکترون های جایجا شده یا آزاد باشد به طوری که الکترون ها به طور طبیعی به سطح سلول مهاجرت می کنند. مواد استفاده شده به هدف رفتار ویژه ساخته می شود طوری که الکترون ها به طور طبیعی به سطح سلول منتقل می شوند. حرکت الکترون ها به سمت سطح جلوی سلول فتوولتائیک خورشیدی باعث ایجاد عدم تعادل در بار الکتریکی بین سطوح جلویی و پشتی سلول می شود. این عدم تعادل پتانسیل ولتاژی مانند پایانه های منفی و مثبت یک باتری ایجاد می کند. هادی های الکتریکی روی سلول الکترون ها را جذب می کنند. هنگامی که هادی ها در

<sup>40</sup> Semiconductor

یک مدار الکتریکی به یک باتری یا مثلاً لامپ متصل می‌شوند، برق از مدار عبور می‌کند. شکل ۱۷ ساختار و عملکرد یک سلول فتوولتائیک را نشان می‌دهد.

## Inside a photovoltaic cell



Source: U.S. Energy Information Administration

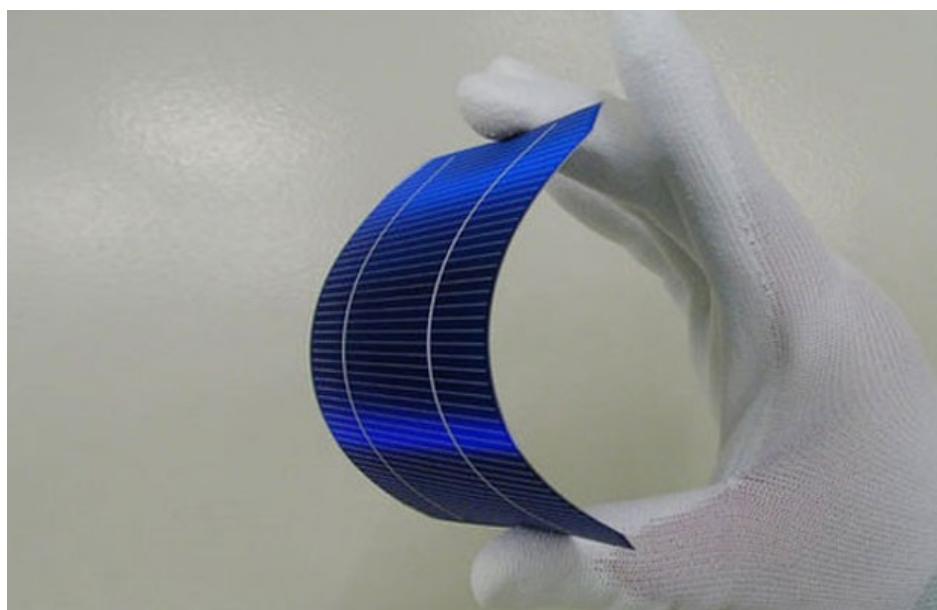
## شکل 17: ساختار و عملکرد داخل یک سلول فتوولتائیک

ساخت سلول های فتوولتائیک به نوبت خود فناوری های متفاوتی دارد که در نتیجه هر کدام کاربردهای خاص خودش را دارد. برخی از مهم ترین تکنولوژی های ساخت این سلول ها به صورت خلاصه به شرح زیر می باشد:

سیلیکون تک کریستالی (Mono-Si): این فناوری از سیلیکون با عیار بالا با ساختار تک کریستالی استفاده می کند که در نتیجه بازده و کارایی خوبی دارد. معمولاً در کاربردهای مسکونی و تجاری استفاده می شود.

سیلیکون پلی کریستالی (Poly-Si): سلول های پلی کریستالی از چندین کریستال سیلیکون ساخته شده اند که هزینه های ساخت را کاهش می دهد. آن ها راندمان کمتری از سیلیکون تک کریستالی دارند، اما به دلیل ارزان بودن به طور گسترده استفاده می شوند.

سلول های خورشیدی لایه نازک: سلول های خورشیدی لایه نازک با قرار دادن یک لایه نازک از مواد نیمه رسانا بر روی یک بستر مانند شیشه یا فلز ساخته می شوند. این فناوری انعطاف‌پذیری، طراحی سبک وزن و هزینه های تولید پایین تر را ارائه می دهد. برای ساخت از موادی مانند سیلیکون آمورف یا تلورید کادمیوم استفاده می شود.



شکل 18: نمونه ای از یک سلول فتوولتائیک لایه نازک و انعطاف پذیر [16]

سیستم‌های فتوولتائیک متمرکز<sup>41</sup>: این نوع سیستم‌ها از عدسی‌ها یا آینه‌هایی برای متمرکز کردن نور خورشید بر روی سلول‌های خورشیدی کوچک و با راندمان بالا استفاده می‌کنند. با متمرکز کردن نور خورشید، این سیستم‌ها می‌توانند به بازده تبدیل بالاتری نسبت به سیستم‌های فتوولتائیک معمولی برسند.

پنل‌های خورشیدی دو وجهی<sup>42</sup>: پنل‌های دو وجهی برای جذب نور خورشید از هر دو طرف طراحی شده‌اند و تولید انرژی را افزایش می‌دهند زیرا می‌توانند نور مستقیم خورشید را از جلو و نور خورشید منعکس شده را از سمت عقب جذب کنند. پانل‌های دو وجهی را می‌توان در کاربردهای مختلفی مانند قایق‌های خورشیدی و نصب روی پشت بام استفاده کرد.

سلول‌های خورشیدی پروسکایت<sup>43</sup>: سلول‌های خورشیدی پروسکایت نوعی سلول خورشیدی لایه نازک هستند که از ترکیبی با ساختار پروسکایت به عنوان لایه برداشت نور استفاده می‌کنند. آنها پیشرفت‌های سریعی را در بهره‌وری نشان داده‌اند و راه حلی بالقوه مقرنون به صرفه و بسیار کارآمد ارائه می‌دهند. با این حال، تجاری سازی هنوز در حال انجام است و تحقیقات بیشتری مورد نیاز است.

سیستم‌های ردیابی خورشیدی: سیستم‌های ردیابی خورشیدی موقعیت پنل‌های خورشیدی را طوری تنظیم می‌کنند که مسیر خورشید را در طول روز دنبال کنند و تولید انرژی را به حداقل برسانند. سیستم‌های ردیابی می‌توانند تک محوری (به دنبال حرکت خورشید از شرق به غرب) یا دو محوره (به دنبال حرکت شرق-غرب و بالا-پایین) باشند.

فتوولتائیک ترکیب با ساختمان<sup>44</sup>: به ادغام پنل‌های خورشیدی در مصالح ساختمانی مانند سقف‌ها، پنجره‌ها و نماها اشاره دارد. این فناوری امکان ادغام یکپارچه تولید برق خورشیدی را در طراحی ساختمان فراهم می‌کند و مزایای عملکردی و زیبایی شناختی را ارائه می‌دهد.

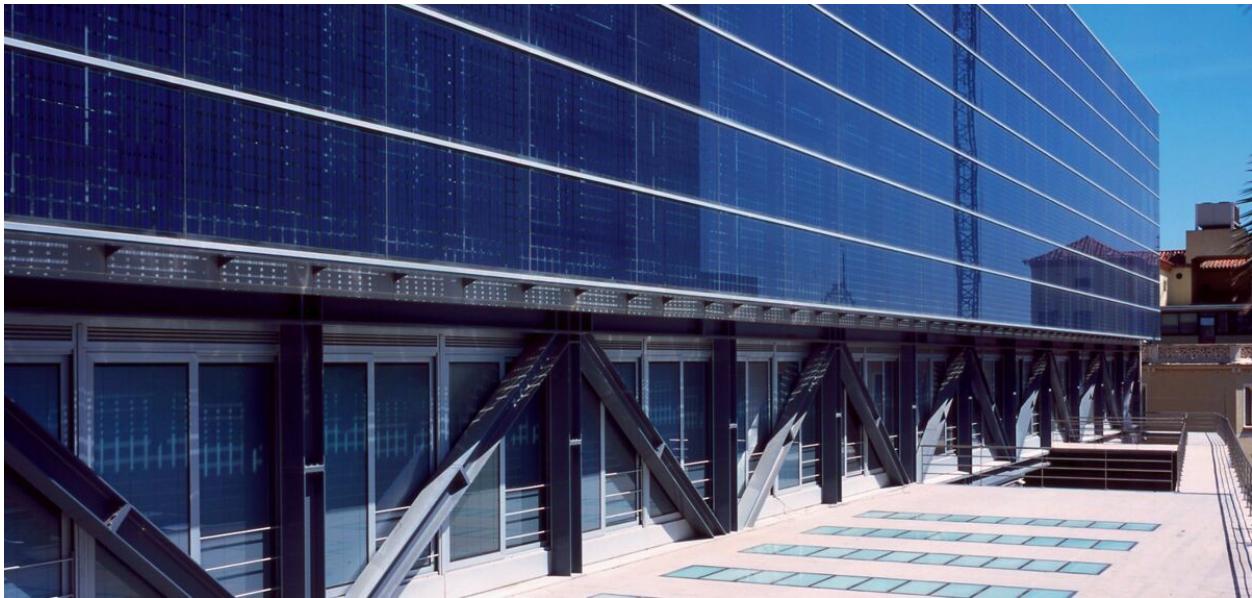
---

<sup>41</sup> Concentrated Photovoltaic (CPV) Systems

<sup>42</sup> Bifacial Solar Panels

<sup>43</sup> Perovskite Solar Cells

<sup>44</sup> Building-Integrated Photovoltaics (BIPV)



شکل 19: نمونه ای از ادغام کامل مصالح یک ساختمان با سلول های فتوولتائیک [17]

هزینه نصب فتوولتائیک به طور معمول به دو بخش تقسیم می شود: هزینه مژول خورشیدی و هزینه های به اصطلاح تعادل سیستم<sup>45</sup> که شامل هزینه های تبدیل کننده ها<sup>46</sup>، قفسه بندی نصب سخت افزار، کار طراحی و هزینه نصب، بازاریابی و همچنین هزینه های نظارتی و تامین مالی مختلف است. انتخاب های فناوری فتوولتائیک روی هزینه های مژول و تعادل سیستم تأثیر می گذارد. پس از دهه ها توسعه، با حمایت سرمایه‌گذاری های قابل توجه تحقیق و توسعه، فناوری پیشرو خورشیدی فتوولتائیک امروزی، سیلیکون کریستالی<sup>47</sup> مبتنی بر ویفر<sup>48</sup>، از نظر فن آوری بالغ شده و توسعه یافته است و ظرفیت تولید مژول سیلیکون کریستالی در مقیاس بزرگ وجود دارد. با این حال، فناوری های سیلیکون کریستالی فعلی دارای محدودیت های فنی ذاتی نیز هستند، مهم ترین این محدودیت ها شامل پیچیدگی پردازش بالا و جذب نور ذاتی پایین است. جذب نور ذاتی بالا به یک ویفر

<sup>45</sup> Balance of system (BOS)

<sup>46</sup> Inverters

<sup>47</sup> Crystalline silicon (c-Si)

<sup>48</sup> رایج ترین نوع سلول های خورشیدی، سلول های خورشیدی ساخته شده از سیلیکون کریستالی یا معمولی، سنتی، نسل اول، و یا ویفری هستند. این نوع سلول خورشیدی از ویفرهای خورشیدی با صخامت 160 تا 190 میکرومتر که برش هایی از سیلیکون درجه (grade) خورشیدی می باشند، ساخته می شود.

سیلیکونی ضخیم نیاز دارد. استحکام و وزن حاصل از ماثول های سیلیکون کریستالی محصور در شیشه به هزینه تعادل سیستم کمک می کند.

شرکت هایی که ماثول های کریستالین-سیلیکن و سلول های اجزا و مواد مورد استفاده آنها را تولید می کنند، برای دنبال کردن فرصت های باقیمانده برای رقابتی تر کردن این فناوری از طریق بهبود کارایی و کاهش هزینه های ساخت و استفاده از مواد، هدف و انگیزه دارند. بنابراین حمایت دولت ها از تحقیق و توسعه در فناوری فعلی کریستالین-سیلیکن توجیه پذیر نیست.

محدودیت های دسترسی به کریستالین-سیلیکن منجر به تحقیق در مورد جایگزین های فتوولتائیک لایه نازک شده است. فناوری های تجاری فتوولتائیک لایه نازک، عمدها تلویرید کادمیوم<sup>49</sup> و سلول های خورشیدی ایندیم گالیوم دیزلنید<sup>50</sup>، تقریباً 10٪ از بازار فتوولتائیک امروزی را تشکیل می دهند و در حال حاضر با سیلیکون از لحاظ اقتصادی در رقابت می باشند. برخی از فناوری های تجاری لایه نازک وابسته به عناصر کمیاب هستند که دستیابی به عملی کردن تولید الکتریسیته در مقیاس تراوات<sup>51</sup> را دشوار می کنند. به عنوان مثال، فراوانی تلویریم در پوسته زمین تنها یک چهارم طلا تخمین زده می شود. تعدادی از فناوری های نوظهور لایه نازک که امروزه در مرحله تحقیقاتی هستند، مواد و ساختار جدید را به کار می بردند و توانایی ارائه عملکرد بهتر با پیچیدگی تولید و هزینه کمتر را نیز دارند [18]. تعدادی از این فناوری ها از مواد فراوان در کره زمین استفاده می کنند. ویژگی های دیگر برخی از فناوری های جدید لایه نازک شامل وزن کم و سازگاری با نصب در قالب های انعطاف پذیر می باشند که منجر به کاهش هزینه های تعادل سیستم همراه با هزینه کمتر ماثول می شود.

#### 1.4.4.2 توان خورشیدی متمرکز (نیروگاه حرارتی خورشیدی)

یکی از راه حل های امیدوار کننده که جذابیت روزافزون دارد، انرژی متمرکز خورشیدی است که به عنوان انرژی حرارتی خورشیدی نیز شناخته می شود. به عنوان یک فناوری انرژی تجدید پذیر، انرژی خورشیدی متمرکز پتانسیل فوق العاده ای برای تامین نیازهای انرژی ما و در عین حال به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی ارائه می دهد. همان طور که از اسم این تکنولوژی پیداست، هدف

<sup>49</sup> Cadmium telluride

<sup>50</sup> Indium gallium diselenide

<sup>51</sup> Terawatt

جمع آوری و متمرکز کردن پرتوهای خورشیدی می‌باشد تا بتوان به کمک آن کارهای مفید انجام داد.

این تکنولوژی (به جز نوع دیشی<sup>52</sup> آن، که در ادامه توضیح داده شده است) معمولاً برای تولید توان با مقیاس بزرگ و شهری استفاده می‌شود. برخلاف سلول‌های فتوولتائیک سنتی که مستقیماً نور خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند، در توان خورشیدی متمرکز گرمای خورشید جذب می‌شود و ذخیره می‌گردد. این گرما می‌تواند توسط یک سیال مانند آب، روغن‌های صنعتی، هوا و یا مواد جامد مانند سنگ جذب شود. انرژی گرمایی جذب شده می‌تواند یک چرخه تولید الکتریسیته را راه اندازی کند که این یک نیروگاه تولید الکتریسیته از گرمای خورشید (نیروگاه انرژی متمرکز خورشیدی) می‌باشد. گرمای مورد نیاز در نیروگاه‌های تولید الکتریسیته از روش‌های مختلف شامل سوزاند زغال سنگ، گاز طبیعی، واکنش هسته‌ای و غیره تامین می‌شود. همان‌که اشاره شد این گرما می‌تواند توسط یک نیروگاه خورشیدی نیز تامین شود. انتخاب اسامی نوع این نیروگاه‌ها فقط بر اساس نحوه تامین انرژی گرمایی می‌باشد و گرنه ادامه فرایند تولید الکتریسیته برای همه آن‌ها مشترک می‌باشد.

پیشرفت فناوری‌های متمرکز انرژی خورشیدی نه تنها ما را قادر می‌سازد الکتریسیته پاک تولید کنیم، بلکه فرست هایی را برای گنجاندن ذخیره انرژی حرارتی فراهم می‌کند. با ادغام سیستم‌های ذخیره انرژی حرارتی، گرمای اضافی تولید شده در طول تابش خورشیدی بیشینه می‌تواند در مواد تغییر فاز دهنده<sup>53</sup> ذخیره شود. سپس این انرژی ذخیره شده می‌تواند در زمان‌های کم نور خورشید یا در شب آزاد شود و تولید برق ثابتی را تضمین کند. چندین فناوری مرتبط با انرژی خورشیدی متمرکز وجود دارد که هر کدام دارای عملکردها و مزایای منحصر به فرد خود هستند. به ابزاری که انرژی گرمایی خورشید را جمع آوری می‌کند کلکتور<sup>54</sup> گفته می‌شود که انواع مختلفی دارد. برخی از این فناوری‌ها که هر کدام از کلکتورها مختص خود استفاده می‌کنند به طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد:

سیستم‌های کلکتور خورشیدی سهموی<sup>55</sup>: این سیستم از آینه‌های بزرگ و منحنی تشکیل شده‌اند که نور خورشید را روی یک لوله گیرنده بلند متمرکز می‌کنند که در امتداد خط کانونی آینه‌ها قرار دارند. یک سیال انتقال حرارت در

<sup>52</sup> Dish

<sup>53</sup> Phase change material

<sup>54</sup> Collector

<sup>55</sup> Parabolic Trough Systems

داخل لوله گیرنده جریان دارد و نور متمرکز خورشید را جذب می کند تا در مراحل بعد به کمک آن بخار آب را تولید کند. توربین نیروگاه به کمک این بخار با دما و فشار بالا برای تولید برق به حرکت در می آید. این فناوری به دلیل کارایی ثابت شده آن به طور گسترده در نیروگاه های مقیاس بزرگ و شهری استفاده می شود.



شکل 20: تصویر از یک کلکتور سهموی خورشیدی در کالیفرنیا امریکا [19]

برج های توان خورشیدی<sup>56</sup>: این برج ها از مجموعه ای از آینه ها به نام هلیوستات استفاده می کنند تا نور خورشید را بر روی گیرنده مرکزی<sup>57</sup> واقع در بالای برج متمرکز کنند. نور متمرکز شده خورشید یک سیال را در گیرنده گرم می کند. از این انرژی گرمایی می توان برای تولید برق استفاده کرد که فرایند تولید برق با سایر نیروگاه های تولید الکتریسیته تقریبا مشترک می باشد. این فرایند در قسمت های قبلی توضیح داده شده است. مزیت این فناوری در توانایی آن برای دستیابی به دماهای بالاتر و در نتیجه بازده های بالاتر تبدیل انرژی است.

---

<sup>56</sup> Solar Power Towers

<sup>57</sup> Central receiver



شکل 21: تصویر یک برج توان خورشیدی از نوع هلیوستات [19]

بازتابندهای فرنل خطی<sup>58</sup>: بازتابندهای فرنل خطی از آینه‌های تحت برای تمرکز نور خورشید بر روی لوله گیرنده استفاده می‌کنند. این آینه‌ها در ردیف‌های طولانی و موازی چیده شده‌اند و حرکت خورشید را در طول روز دنبال می‌کنند. گرمای جذب شده برای تولید برق مشابه توضیحات قبلی ارائه شده استفاده می‌شود. بازتابندهای خطی فرنل به دلیل ساخت ساده‌تر ارزان‌تر می‌باشند.

---

<sup>58</sup> Linear Fresnel Reflectors



شکل 22: تصویر یک نیروگاه توان خورشیدی متمرکز از نوع فرنل خطی [20]

سیستم های دیش استرلینگ<sup>59</sup>: سیستم های دیش استرلینگ از یک دیش سهموی شکل تشکیل شده است که نور خورشید را به کانون خود منعکس می کنند. یک گیرنده گرما در کانون این دیش قرار دارد و شامل موتور استرلینگ<sup>60</sup> می باشد. موتور گرمای جذب شده را برای به حرکت درآوردن پیستون استفاده می کند. انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی و سپس از طریق ژنراتور به الکتریسیته تبدیل می شود. این سیستم ها به ویژه برای کاربردهای مقیاس کوچک، مانند تولید برق خارج از شبکه یا مکان های دور دست مناسب هستند.

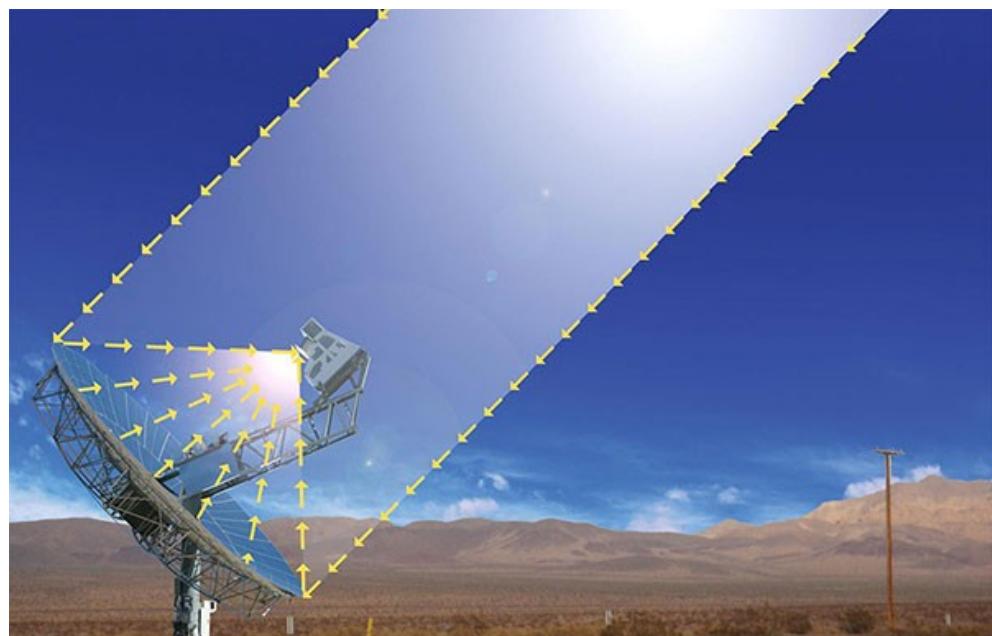
---

<sup>59</sup> Dish Stirling Systems

<sup>60</sup> Stirling engine



شکل 23: تصویر یک سیستم توان خورشیدی متمرکز از نوع دیشی [21]



## شکل 24: فرایند متمرکز کردن نور خورشیدی در یک سیستم توان خورشیدی متمرکز در کانون سهموی آن، نوع دیشی [22]

سیستم‌های توان خورشیدی متمرکز می‌توانند در مقیاس بزرگ بدون مواجهه با مشکلات در تامین مواد اولیه مستقر شوند. همچنین قابلیت گنجاندن ذخیره انرژی حرارتی در این سیستم‌ها به این معنی است که توان خورشیدی متمرکز می‌تواند منبع برق قابل دیسپاچینگ<sup>61</sup> باشد. دیسپاچینگ در نیروگاه‌های بزرگ و شبکه‌های قدرتی مانند نیروگاه‌های برق مورد استفاده قرار می‌گیرد و کنترل تمامی بخش‌ها را در این نیروگاه‌ها اعم از تولید، انتقال و توزیع را بر عهده دارد. در زمان‌هایی که برق لازم است و سیستم برق با کمبود مواجه می‌شود، می‌توان برق مورد نیاز را از حرارت ذخیره شده تامین کرد. بهترین راه‌ها برای بهبود هزینه‌های اقتصادی توان خورشیدی متمرکز احتمالاً دمای کاری بالاتر و جمع آوری انرژی خورشیدی از روش‌های کارآمدتر است.

بنابراین، هزینه‌های تحقیق و توسعه در فناوری توان خورشیدی متمرکز باید بر پیشرفت‌ها در طراحی سیستم و دریافت انرژی خورشیدی متمرکز کند. برای مثال کار روی سیستم‌هایی مانند برج‌های خورشیدی، و در علم مواد عملیات در دمای بالاتر، و توسعه سیستم‌ها برای جمع‌آوری انرژی می‌تواند بسیار کارساز باشد.

انرژی متمرکز خورشیدی به عنوان یک راه حل انرژی پایدار نویدبخش است و مزایای زیست محیطی متعددی را ارائه می‌دهد. با استفاده از این منبع پاک، فراوان و تجدیدپذیر، می‌توانیم وابستگی خود به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهیم، انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهیم و تغییرات آب و هوایی را کاهش دهیم. با تحقیق و توسعه مداوم، کارایی، مقررین به صرفه بودن و مقیاس‌پذیری سیستم‌های انرژی خورشیدی متمرکز همچنان در حال بهبود است و موقعیت خود را به عنوان یک بازیگر کلیدی در آینده انرژی پاک مستحکم می‌کند.

### 1.4.5 کاربردهای انرژی خورشیدی

برای قرن‌ها، انسان‌ها از این منبع انرژی فراوان و تجدیدپذیر برای کاربردهای مختلف استفاده کرده‌اند. با پیشرفت‌های فناوری، انرژی خورشیدی به عنوان یک راه حل کارآمد و پایدار برای پاسخگویی به نیازهای روزافزون انرژی و در

<sup>61</sup> Dispatching

عین حال کاهش نگرانی‌های زیست‌محیطی پدیدار شده است. امروزه انرژی خورشیدی کاربردهای متعدد جدید و روزافزونی در بخش‌های مختلف پیدا کرده است. برخی از این کاربردها به صورت خلاصه به ترتیب زیر دسته بندی شده اند:

-1- تولید برق: کاربردهای این حوزه بسیار متنوع می‌باشند چرا که امروزه بخش زیادی از وسایل و دستگاه‌ها به کمک انرژی الکتریکی کار می‌کنند.

(a) سیستم‌های فتوولتایک<sup>62</sup>: سیستم‌های فتوولتایک که به عنوان سیستم‌های انرژی خورشیدی نیز شناخته می‌شوند، کاربردهای گسترده‌ای در بخش‌های مختلف دارند. برخی از این کاربردهای اصلی عبارتند از: به صورت مزرعه پانل‌های خورشیدی، استفاده در مکان‌های دوردست، سیستم‌های توان خوداکتفا<sup>63</sup>، کاربردهای فضایی، نیازهای ساختمان، کاربردهای نظامی و حمل و نقل. در ادامه به درباره این کاربردها و بعضی از نمونه‌های دیگر توضیح داده شده

(b) مسکونی: سیستم‌های فتوولتایک را می‌توان در ساختمان‌های مسکونی برای تولید برق برای نیازهای خانگی استفاده کرد. آنها می‌توانند وسایل برقی، روشنایی، گرمایش و سرمایش را تامین کنند و وابستگی به شبکه سراسری برق و هزینه قبوض انرژی را کاهش دهند. مزارع خورشیدی پانل‌های فتوولتایک می‌توانند توان را در مقیاس کاربردی یعنی از ده‌ها مگاوات تا بیش از یک گیگاوات فراهم کنند. این سیستم‌های بزرگ، با استفاده از پانل‌های ثابت یا ردیاب خورشیدی، برق را به شبکه‌های شهری یا منطقه‌ای تغذیه می‌کنند. مواد فتوولتایک همچنین می‌توانند به عنوان پنجره‌ها، کاشی‌های سقف یا روکش در ساختار یک ساختمان ادغام شوند تا هم توان تولید کنند و هم در نقش ساختار استفاده نقش ایفا کنند. همچنین سایبان‌ها و سازه‌های پارکینگ را می‌توان با فتوولتایک پوشاند تا سایه و توان مورد نیاز را تامین کند.

(c) تجاری و صنعتی: سیستم‌های فتوولتایک به طور گسترده در محیط‌های تجاری و صنعتی برای جبران مصرف انرژی استفاده می‌شوند. آرایه‌های مناسبی از پنل‌های خورشیدی را می‌توان بر روی پشت بام‌ها، پارکینگ‌ها یا فضاهای باز نصب کرد تا انرژی پاک برای دفاتر، کارخانه‌ها، انبارها و مراکز خرید تولید شود.

(d) سیستم‌های خارج از شبکه: سیستم‌های فتوولتایک در مناطق دورافتاده که دسترسی به شبکه برق وجود ندارد، ارزشمند هستند. این سیستم‌ها همراه با راه حل‌های ذخیره انرژی مانند باتری‌ها، منبع تغذیه مستقل برای روشنایی،

<sup>62</sup> Photovoltaic

<sup>63</sup> Stand-alone

دستگاه های ارتباطی، پمپ های آب، کاربردهای نظامی، پایگاه ها دورافتاده و سایر لوازم ضروری را فراهم می کنند.

(d) سیستم های متصل به شبکه: سیستم های فتوولتائیک را می توان با شبکه برق ترکیب کرد که این کار اجازه می دهد برق اضافی به شبکه بازگردانده شود. این به کاربران امکان می دهد از طریق نت مترینگ<sup>64</sup> یا تعرفه های تغذیه ورودی اعتبار کسب کنند و در عین حال از منبع تغذیه پایدار در دوره های ابری یا شرایط با تقاضای بالا اطمینان حاصل کنند. نت مترینگ سیستمی است که در آن پنل های خورشیدی یا دیگر مولدهای انرژی تجدیدپذیر به یک شبکه برق عمومی متصل می شوند و نیروی مازاد به شبکه منتقل می شود و به مشتریان اجازه می دهد تا هزینه برق گرفته شده از برق را جبران کنند.

(e) کشاورزی: سیستم های فتوولتائیک در کشاورزی کاربردهایی پیدا کرده اند، مانند سیستم های آبیاری، پمپاژ آب و عملیات دامداری. فنس<sup>65</sup> خورشیدی، روشنایی انبارها یا اصطبل ها و سیستم های تغذیه خودکار نیز می توانند با استفاده از فتوولتائیک اجرا شوند.

(f) حمل و نقل: پنل های خورشیدی ادغام شده در وسایل نقلیه الکتریکی، از جمله اتومبیل، اتوبوس، هواپیما و دوچرخه، می توانند به شارژ باتری وسیله نقلیه و افزایش برد آن کمک کنند. ایستگاه های شارژ با انرژی خورشیدی در امتداد بزرگراه ها یا در پارکینگ ها نیز می توانند از پذیرش وسایل نقلیه الکتریکی پشتیبانی کنند.

(g) تصفیه آب: سیستم های فتوولتائیک را می توان با فناوری های تصفیه آب مانند اسمز معکوس<sup>66</sup> یا ضد عفونی اشعه ماوراء بنفس همراه کرد. استفاده از سیستم های تصفیه آب با انرژی خورشیدی به ویژه در مناطق با دستری محدود به آب آشامیدنی بسیار مفید هستند.

(h) کاربردهای قابل حمل<sup>67</sup>: شارژرهای خورشیدی، پنل های خورشیدی قابل حمل و کوله پشتی خورشیدی برای شارژ دستگاه های تلفن همراه، لپ تاپ ها و تجهیزات کمپینگ محبوب و کاربردی هستند. این برنامه ها می توانند توان پایداری را در محیط های بیرونی فراهم کنند.

(i) امداد بلایای طبیعی: در شرایط اضطراری یا بلایای طبیعی، سیستم های

<sup>64</sup> Net metering

<sup>65</sup> Fence

<sup>66</sup> Reverse osmosis

<sup>67</sup> Portable Applications

فتولولتائیک نقش مهمی در تامین برق موقت زیرساخت‌های حیاتی مانند بیمارستان‌ها، واحدهای واکنش اضطراری و کمپ‌های امدادی دارند. این موقع معمولاً منابع برق معمولی مختل می‌شوند.

ز) کاربردهای فضایی: سیستم‌های فتوولولتائیک به طور گسترده در ماموریت‌های فضایی برای تامین انرژی ماهواره‌ها، فضایپماها و ایستگاه فضایی بین المللی استفاده می‌شوند. پنل‌های خورشیدی نور خورشید را در فضا جذب می‌کنند و برای پشتیبانی از عملیات‌های مختلف به برق تبدیل می‌کنند. این پنل‌ها به طور گسترده در ماموریت‌های فضایی و ماهواره‌های مختلف برای تامین انرژی برای سیستم‌های ارتباطی، ابزارهای علمی، سیستم‌های پیش‌رانش و سایر تجهیزات داخل هواپیما استفاده می‌شوند. با توجه به فراوانی نور خورشید موجود در فضا، پانل‌های فتوولولتائیک منبع انرژی پایدار و تجدید پذیری را فراهم می‌کنند که وابستگی به منابع محدود دیگر مورد استفاده را کاهش می‌دهد و اثرات زیست محیطی اکتشاف فضا را نیز به حداقل می‌رساند. علاوه بر این، ماهیت فشرده و سبک وزن این پانل‌ها آن‌ها را برای کاربردهای فضایی که محدودیت وزن و اندازه از عوامل حیاتی هستند، ایده‌آل می‌کند. به طور کلی، پانل‌های فتوولولتائیک نقش حیاتی در تامین انرژی ماموریت‌های فضایی، امکان پروازهای طولانی مدت، تسهیل تلاش‌های تحقیقاتی و گسترش درک ما از جهان فراتر از مرزهای زمین

ک) کاربردهای نظامی: پانل‌های فتوولولتائیک مخصوصاً نوع نازک و سبک آن‌ها کاربردهای نظامی مختلفی دارند، از جمله تامین توان موردنیاز برای سربازان با شارژ باتری‌ها و راه اندازی تجهیزات ضروری. سربازان در تاسیسات نظامی مناطع دوردست مستقر هستند و امکان تولید برق خودکفا برای روشنایی، سیستم‌های ارتباطی و تجهیزات نظارتی را فراهم می‌کنند. پنل‌های فتوولولتائیک توان سیستم‌های بدون سرنوشتین مانند هواپیماهای بدون سرنوشتین و وسایل نقلیه زمینی را تامین می‌کنند و زمان ماموریت‌های آن‌ها را بدون نیاز به سوخت‌گیری یا تعویض باتری افزایش می‌دهند. این پنل‌ها منابع انرژی قابل حمل را برای شارژ باتری دستگاه‌های دستی و رادیوها ارائه می‌دهند و از ارتباطات میدانی با تغذیه تکرارکننده‌های رادیویی<sup>68</sup>، پایانه‌های ماهواره‌ای و مراکز فرماندهی سیار پشتیبانی می‌کنند. علاوه بر این، استقرار آنها استقلال انرژی را افزایش می‌دهند و وابستگی به شبکه‌های برق خارجی را کاهش می‌دهند.

(II) سلول‌های فتوولولتائیک لایه نازک: سلول‌های خورشیدی لایه نازک

<sup>68</sup> International Space Station (ISS)

<sup>69</sup> Radio repeater

نوعی سلول فتوولتائیک هستند که از لایه های نازکی از مواد نیمه هادی مانند سیلیکون، آمورف<sup>70</sup> برای تبدیل نور خورشید به الکتریسیته استفاده می کنند. به دلیل انعطاف پذیر بودن و نازک بودن کاربردهای بسیار فراوانی دارند.

(III) سیستم های متمرکز انرژی خورشیدی یا انرژی حرارتی خورشیدی<sup>71</sup>: این سیستم ها از آینه ها یا عدسی ها برای متمرکز کردن نور خورشید بر روی گیرنده انرژی خورشیدی استفاده می کنند که آن را به گرما تبدیل می کند. سپس از گرما برای تولید برق از طریق توربین های بخار یا سایر موتورهای حرارتی استفاده می شود. از این سیستم ها معمولاً برای تولید الکتریسیته در مقیاس بزرگ و شهری استفاده می شود.

-2- گرمایش خورشیدی: گرمایش خورشیدی روشی سازگار با محیط زیست برای استفاده از انرژی رایگان خورشید برای گرم کردن خانه ها، ساختمان ها، دستگاه های صنعتی و ... است. نحوه عملکرد این سیستم ها در جذب گرمایش خورشید شبیه جذب گرما در نیروگاه های متمرکز خورشیدی می باشد که در باه آن توضیح داده شد. سیستم های گرمایش هوای خورشیدی تابش خورشید را جمع آوری کرده و از آن برای گرم کردن هوا و یا هر سیال دیگری مانند آب استفاده می کنند که می تواند برای گرمایش فضا یا فرآیندهای صنعتی استفاده شود. این سیستم ها اغلب در ساختمان ها، گلخانه ها، کاربردهای خشک کردن، نمک زدایی خورشیدی و پخت و پز خورشیدی به کار می روند.

-3- سرمایش خورشیدی: سیستم های خنک کننده خورشیدی از انرژی خورشیدی برای تامین سرمایش و تهویه مطبوع استفاده می کنند. این سیستم ها برای کاهش وابستگی به شبکه سراسری برق و کاهش انتشار کریں مرتبط با فناوری های خنک کننده معمولی طراحی می شوند. این سیستم ها ابتدا انرژی گرمایی خورشید را جذب می کنند و پس از طی فرآیندهایی برای خانه ها، ادارات و تأسیسات صنعتی سرمایش فراهم می کنند.

-4- سوخت های خورشیدی<sup>72</sup>: سوخت های خورشیدی به عنوان یک راه حل امیدوارکننده در جستجوی منابع انرژی پاک و پایدار هستند. سوخت های خورشیدی

<sup>70</sup> Amorphous Silicon

<sup>71</sup> Solar fuels

<sup>72</sup> Solar fuels

به سوخت‌هایی اطلاق می‌شود که از طریق تبدیل، مستقیم یا غیرمستقیم انرژی خورشیدی مانند سیستم‌های فتوولتائیک یا فوتوالکتروشیمیایی تولید می‌شوند. این تکنولوژی انرژی خورشیدی را برای انجام واکنش‌های شیمیایی استفاده می‌کند تا سوخت قابل استفاده تولید شود. با استفاده از انرژی خورشیدی، این سوخت‌ها چندین مزیت را دارند. اول از همه، سوخت‌های خورشیدی جایگزینی بدون کربن برای سوخت‌های فسیلی معمولی هستند و به کاهش اثرات نامطلوب انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب و هوایی کمک می‌کنند. برخلاف سوخت‌های فسیلی که هنگام سوزاندن دی‌اکسید کربن آزاد می‌کنند، سوخت‌های خورشیدی فقط آب و اکسیژن تولید می‌کنند درنتیجه آن‌ها دوستدار محیط‌زیست و سازگار با اقتصاد دایره‌ای<sup>73</sup> می‌باشند. یکی دیگر از مزایای قابل توجه سوخت‌های خورشیدی پتانسیل آنها برای ایجاد استقلال انرژی است. با جذب و ذخیره انرژی خورشیدی در قالب سوخت، می‌توانیم وابستگی خود را به منابع سوخت فسیلی محدود و اغلب حساس ژئوپلیتیکی<sup>74</sup> کاهش دهیم. علاوه بر این، سوخت‌های خورشیدی از نظر کاربردهایشان تطبیق پذیری قابل توجهی را دارند. هیدروژن یکی از پرطرفدارترین سوخت‌های خورشیدی است که به راحتی می‌توان آن را ذخیره کرد و در انواع فرآیندهای صنعتی و سیستم‌های تولید برق استفاده کرد. از دیگر سوخت‌های خورشیدی می‌توان به مтанول<sup>75</sup>، آمونیاک<sup>76</sup>، گاز طبیعی مصنوعی<sup>77</sup>، سوخت‌های مبتنی بر کربن<sup>78</sup> مانند بنزین، گازوئیل و سوخت جت، الكل‌ها<sup>79</sup> و سوخت‌های مبتنی بر سولفور<sup>80</sup> مانند هیدروژن سولفید اشاره کرد. سوخت‌های خورشیدی مانند هیدروژن نیز می‌توانند در سیستم‌های انرژی موجود ادغام شوند و انتقال به یک شبکه انرژی پایدار و غیرمت مرکز را تسهیل کنند. توسعه فناوری‌های سوخت خورشیدی در سال‌های اخیر شاهد پیشرفت‌های چشمگیری بوده است. محققان در حال بررسی رویکردهای مختلفی مانند فتوستنتر مصنوعی هستند که از فرآیند طبیعی فتوستنتر برای تبدیل نور خورشید، آب و کربن دی‌اکسید به سوخت تقلید می‌کند. مهندسی مواد نقش مهمی در طراحی و بهینه سازی وسایل سوخت خورشیدی کارآمد از جمله فتوولتائیک‌ها، کاتالیزورها و فوتوالکترودها ایفا می‌کند. در حالی که سوخت‌های خورشیدی پتانسیل بسیار زیادی دارند، استقرار در مقیاس بزرگ آنها هنوز با چالش‌هایی روبرو است. تلاش‌های تحقیق و توسعه بر روی بهبود کارایی، دوام و

<sup>73</sup> اقتصاد دایره‌ای (circular economy) : یک سیستم احیا کننده است که در آن منابع تا زمانی که ممکن است از آن‌ها استفاده می‌شود، صنایعات به حداقل می‌رسد و مواد به طور مداوم بازیافت می‌شوند.

<sup>74</sup> Geopolitically

<sup>75</sup> Methanol

<sup>76</sup> Ammonia

<sup>77</sup> Synthetic natural gas (SNG)

<sup>78</sup> Carbon-based fuels

<sup>79</sup> Alcohols

<sup>80</sup> Sulfur-based fuels

مقرن به صرفه بودن فناوری‌های سوخت خورشیدی تمرکز دارد. علاوه بر این، ایجاد یک زیرساخت قوی برای تولید، ذخیره و توزیع سوخت‌های خورشیدی برای اطمینان از پذیرش گسترده آنها ضروری است. در حالت کلی، سوخت‌های خورشیدی مسیری هیجان‌انگیز به سوی آینده انرژی پایدار و پاک‌تر ارائه می‌دهند. این سوخت‌ها با بهره‌گیری از نیروی خورشید، راه حلی سازگار با محیط زیست و کربن خنثی برای رفع نیازهای انرژی ما ارائه می‌دهند. پیشرفت‌های مداوم در فناوری‌های سوخت خورشیدی نوید تحولی در چشم‌انداز انرژی ما را می‌دهد و به ما قدرت می‌دهد تا جهانی انعطاف‌پذیرتر و پایدارتر برای نسل‌های آینده ایجاد کنیم.

5- طراحی غیرفعال خورشیدی: طراحی غیرفعال خورشیدی، تکنیک‌های معماری برای به حداقل رساندن استفاده از نور خورشید برای گرمایش، سرمایش و روشنایی ساختمان‌ها می‌باشد. هدف عدم استفاده از سیستم‌های مکانیکی می‌باشد که نیاز به خرید و استفاده از آن‌ها نیازمند هزینه و انرژی است. ویژگی‌هایی مانند پنجره‌های بزرگ رو به جنوب، جرم حرارتی و سایهبان‌ها به بهینه سازی بهره‌وری انرژی کمک می‌کنند. عناصر کلیدی طراحی غیرفعال خورشیدی عبارتند از جهت، شیشه و عایق کاری، جرم حرارتی، سایه، تهویه و روشنایی. جهت قرار دادن پنجره‌های ساختمان در مسیر خورشید برای دریافت حداقل نور خورشید. شیشه و عایق کاری مثلاً استفاده از پنجره‌ها و عایق‌های کم مصرف برای جلوگیری از اتلاف گرما در فصل‌های سردتر و حفظ هوای خنک داخل ساختمان‌ها در ماه‌های گرم. جرم حرارتی برای مثال استفاده از مواد با ظرفیت ذخیره گرمای بالا، مانند بتون یا سنگ، برای جذب و آزادسازی آهسته گرما جهت تشییت دمای داخل ساختمان. سایه زنی مثل اجرای برآمدگی‌ها، سایبان‌ها یا پوشش گیاهی برای کنترل میزان نور مستقیم خورشید که در فصول گرم سال وارد ساختمان می‌شود و از گرمای بیش از حد جلوگیری می‌کند. تهویه به معنی اطمینان از جریان هوای مناسب از طریق قرار دادن پنجره‌ها، دریچه‌ها و دودکش‌های حرارتی برای تسهیل خنک سازی طبیعی و کاهش وابستگی به سیستم‌های مکانیکی. روشنایی به منظور به حداقل رساندن نفوذ نور طبیعی از طریق پنجره‌ها، پنجره‌های سقفی و قفسه‌های روشن می‌باشد که نیاز به نور مصنوعی را به حداقل می‌رسانند. با استفاده از این تکنیک‌های غیرفعال، ساختمان‌ها می‌توانند مصرف انرژی را کاهش و آسایش ساکنین را افزایش دهند و به اهداف پایداری و بهره‌وری انرژی کمک کنند.

در ادامه به بررسی بیشتر انرژی خورشیدی از جنبه های مختلف می پردازیم که برای درک بهتر این نوع انرژی و تصمیم گیری ها ضروری می باشد.

## 1.4.6 استقرار فتوولتائیک

رشد چشمگیر اخیر استفاده از سیستم های فتوولتائیک، به دلیل کاهش حداقل 50 تا 70 درصدی قیمت های فتوولتائیک گزارش شده (در ایالات متحده امریکا بدون یارانه فدرال) به ازای پیک وات نصب شده می باشد [23]. تقریباً تمام این بهبودها نتیجه کاهش قیمت ماثول ها و اینورترها است. علاوه بر این، ساختار بازار انرژی خورشیدی، به ویژه در سطح مسکونی، با تکامل مدل های تجاری جدید، معرفی مکانیسم های تامین مالی جدید، و کاهش قریب الوقوع یارانه ها در کشورهای مختلف دنیا در حال تغییر است.

## 1.4.7 اقتصاد خورشیدی

رقابت اقتصادی برق خورشیدی نسبت به سایر فناوری های تولید برق، به هزینه آن و ارزش خروجی آن در بازار برق بستگی دارد. معیاری که معمولاً برای مقایسه منابع مختلف برق مورد استفاده قرار می گیرد، هزینه یکسان شده برق<sup>81</sup> است [24]. با این حال، هزینه یکسان شده برق یک معیار ناکافی برای ارزیابی رقابت پذیری فتوولتائیک، یا برای مقایسه فتوولتائیک با توان خورشیدی متمرکز با منابع تولید معمولی است. زیرا مقدار هر کیلووات ساعت تولید فتوولتائیک به بسیاری از ویژگی های بازار برق منطقه ای بستگی دارد، از جمله سطح نفوذ فتوولتائیک. به عنوان مثال، هر چه ظرفیت فتوولتائیک در یک بازار معین بیشتر باشد، افزایش تولید فتوولتائیک ارزش کمتری دارد.

## 1.4.8 مقیاس کاربردی خورشیدی

با این وجود، تخمین های هزینه یکسان شده برق مفید هستند زیرا تصویری تقریبی از موقعیت رقابتی انرژی خورشیدی در سطح پایین نفوذ فعلی آن در ترکیب تامین برق ارائه می دهند. در ارزیابی اقتصادی تولید خورشیدی در مقیاس کاربردی، نقطه مقایسه مناسب با سایر فناوری های تولید در مقیاس کاربردی،

<sup>81</sup> Levelized cost of electricity (LCOE)

مانند نیروگاههای سیکل ترکیبی گاز طبیعی<sup>82</sup> است [25]. برای مثال، بدون درنظر گرفتن هزینه برای انتشار کربن دی اکسید و یارانه‌های فدرال در ایالات متحده امریکا، برق فتوولتائیک در مقیاس صنعتی فعلی دارای هزینه یکسان شده برق بالاتری نسبت به تولید سیکل ترکیبی گاز طبیعی در اکثر مناطق ایالات متحده، از جمله مناطق نسبتاً آفتابی مثل جنوب کالیفرنیا است.

طراحی نیروگاههای توان خورشیدی متمرکز با ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، هزینه یکسان شده برق را کاهش می‌دهد و به این نیروگاه‌ها اجازه می‌دهد در زمان‌هایی که برق بیشترین ارزش را دارد، برق تولید کنند و آن‌ها را با سایر منابع تولید برق رقابتی‌تر می‌کند. با این وجود، تولید فتوولتائیک در مقیاس کاربردی حدود 25 درصد ارزان‌تر از تولید توان خورشیدی متمرکز است.

## 1.4.9 خورشیدی مسکونی

اگر تولید انرژی خورشیدی برای سهم آن در سطح سیستم یا عمدۀ فروشی ارزش‌گذاری شود، و با فرض اینکه نفوذ انرژی خورشیدی در شبکه باعث افزایش خالص هزینه‌های توزیع نمی‌شود، تولید فتوولتائیک توسط سیستم‌های مسکونی به طور متوسط حدود 70 درصد پرهزینه‌تر از تولید برق توسط نیروگاه‌های فتوولتائیک مقیاس-سودمند است. اکنون، نیروگاه‌های فتوولتائیک حتی در کالیفرنیا، و حتی با احتساب 100 درصد یارانه‌های مؤثر فدرال، فتوولتائیک مسکونی با تولید نیروگاههای سیکل ترکیبی گاز طبیعی بر اساس هزینه یکسان شده برق، قابل رقابت نیست.

کاهش هزینه‌های تعادل سیستم به سطوح معمول‌تر تاسیسات فتوولتائیک در آلمان، فتوولتائیک مسکونی را به موقعیت رقابتی نزدیک‌تر می‌کند، اما فتوولتائیک مسکونی همچنان گران‌تر از تولید فتوولتائیک یا نیروگاههای سیکل ترکیبی گاز طبیعی در مقیاس شهری است.

در اکثر سیستم‌های توزیع برق، تولید توسط سیستم‌های فتوولتائیک مسکونی متصل به شبکه تحت فرآیندی به نام اندازه‌گیری شبکه جبران می‌شود. در این جریان، مالک تاسیسات فتوولتائیک مسکونی نرخ خرده فروشی مسکونی را برای برق خریداری شده از شرکت توزیع محلی پرداخت می‌کند و با همان نرخ برای هر خروجی فتوولتائیک مازادی که به شبکه برق بازگردانده می‌شود، جبران می‌شود.

<sup>82</sup> Natural gas combined cycle (NGCC)

در این شرایط، معیار سرمایه‌گذاری رایج مورد استفاده برابری شبکه است، که زمانی به دست می‌آید که استفاده از یک سیستم فتوولتائیک پشت بام برای برآوردن بخشی از نیازهای برق مشتری خانگی به همان اندازه جذاب و به صرفه باشد که به طور کامل به شرکت توزیع محلی متکی باشد.

## 1.4.10 ترکیب کردن برق تولیدی از انرژی خورشیدی فتوولتائیک با نیروگاه‌های موجود

استفاده از انرژی خورشیدی به صورت توضیع شده<sup>83</sup> استفاده از برق فتوولتائیک به صورت توضیع شده (مثلا ساختمان‌های مسکونی در نقاط مختلف شهر محجز به سیستم تولید برق فتوولتائیک باشند) از دو لحاظ بر سیستم هزینه تحمیل دارد. به طور کلی، تلفات انرژی الکتریکی در شبکه انتقال در ابتدا با افزایش استفاده از برق فتوولتائیک به صورت توضیع شده کاهش می‌یابد. با این حال، هنگام به کاربردن بیشتر انرژی فتوولتائیک توضیع شده و افزایش سهم قابل توجه از تولید کلی، باعث می‌شود که هزینه‌های توزیع افزایش یابد. درنتیجه نرخ‌های محلی هم افزایش خواهد یافت، زیرا سرمایه‌گذاری‌های اضافی برای حفظ کیفیت برق مورد نیاز است، چرا که شبکه‌های مورد استفاده فعلی برای مدیریت و ساماندهی برگشت برق از مشتریان به شبکه طراحی نشده است [26]. هم اکنون ذخیره‌سازی الکتریسیته اصلایک جایگزین ارزان قیمت برای تقویت شبکه یا ارتقاء مدیریت افزایش جریان برق فتوولتائیک توزیع شده نمی‌باشد.

در یک سیستم توزیع دقیق، کارآمد و عادلانه، هر مشتری سهمی از هزینه‌های شبکه توزیع را پرداخت می‌کند که نشان دهنده مسئولیت او در ایجاد این هزینه‌ها است. به جای آن، اکثر شرکت‌های آب و برق ایالات متحده مربوط به هزینه‌های شبکه توزیع، هزینه‌های برق و سایر هزینه‌ها را دسته‌بندی می‌کنند و سپس نرخ یکنواخت به ازای هر کیلووات ساعت را دریافت می‌کنند که فقط تمام این هزینه‌ها را پوشش می‌دهد.

این تغییر هزینه‌ها و اعمال یارانه برای ژنراتورهای خورشیدی مسکونی قبلًا

<sup>83</sup> Distributed

منجر به ایجاد درگیری‌های سیاسی در برخی مناطق و ایالت‌های ایالات متحده امریکا شده است. پیش‌بینی می‌شود که این درگیری‌ها و تنازع‌ها با افزایش استفاده از انرژی خورشیدی در منازل مسکونی تشدید شود. به دلیل این مشکلات، رشد سریع و بلندمدت در تولید پراکنده انرژی خورشیدی احتمالاً نیازمند بررسی و توسعه سیستم‌های قیمت‌گذاری است که منجر به سرمایه‌گذاری کارآمد و منصفانه در شبکه می‌شوند.

## 1.4.11 بازارهای عمدۀ فروشی و کلان برای انرژی خورشیدی

تولید توان خورشیدی مرکز زمانی که با ذخیره انرژی حرارتی همراه باشد، می‌تواند مانند تولید انرژی از روش حرارتی یا هسته‌ای معمول در بازارهای برق استفاده و دیزپاچینگ<sup>84</sup> شود.

با این وجود، زمانی که انرژی برق فتوولتائیک سهم قابل توجهی از بازار عمدۀ فروشی برق داشته باشند، چالش‌هایی برای هماهنگی و دیزپاچینگ به وجود می‌آیند. تقریباً در دو سوم ایالات متحده و در بسیاری از کشورهای دیگر، تولید کنندگان برق تولیدی خود را برای بازارهای عمدۀ فروشی رقابتی به مزایده می‌گذارند. واحدهای فتوولتائیک با هزینه‌نهایی تولید خود که صفر است مزایده ارائه می‌دهند ولی از طرف دیگر هر ساعت هزینه و سود نهایی سیستم را کسب می‌کنند.

در بازارهای عمدۀ فروشی برق، سیستم‌های تولیدکنندگان برق معمولی (مثل سوخت‌های فسیلی) که بالاترین هزینه‌های نوسانی دارند را جایگزین می‌کند. این امر باعث کاهش هزینه‌های تولید متغیر و در نتیجه کاهش قیمت‌های بازار می‌شود. و از آنجایی که سیستم‌های قدیمی‌تر و معمول وابسته به سوخت‌های فسیلی هستند، این امر منجر به کاهش انتشار کردن دی‌اکسید نیز می‌شود.

به احتمال زیاد در آینده، ترکیب تولید انرژی غیر خورشیدی با حجم زیاد انرژی خورشیدی با ظرفیت بیشینه<sup>85</sup> به صورت انعطاف‌پذیر تو تنظیم می‌شود. بنابراین می‌توان انتظار داشت ارزش اقتصادی خروجی فتوولتائیک افزایش یابد. همچنین، پیک‌های بار خالص را می‌توان کاهش داد و الزامات مربوط به چرخه در

<sup>84</sup> Dispatching

<sup>85</sup> Peaking

تولیدکننده‌های انرژی به صورت حرارتی را می‌توان با هماهنگ کردن تولید انرژی خورشیدی با انرژی برق آبی، ذخیره‌سازی پمپ، سایر نوع‌های موجود ذخیره‌سازی انرژی و تکنیک‌های مدیریت تقاضا کاهش داد. به دلیل اهمیت بالقوه ذخیره‌سازهای انرژی در تسهیل استفاده بیشتر از انرژی خورشیدی، فناوری‌های ذخیره‌سازی در مقیاس بزرگ موارد جذابی برای اختصاص هزینه‌های تحقیق و توسعه هستند.

استفاده از انرژی فتوولتائیک در حجم کم مقرن به صرفه نیست، حتی اگر تولید این انرژی در سطوح نفوذ پایین مقرن به صرفه شود، درآمد به ازای هر کیلووات ظرفیت نصب شده با افزایش نفوذ خورشید تا رسیدن به نقطه سریع‌سر کاهش می‌یابد که فراتر از آن سرمایه‌گذاری بیشتر در انرژی فتوولتائیک خورشیدی بی‌سود خواهد بود. بنابراین کاهش قابل توجه هزینه‌ها برای رقابتی کردن سیستم فتوولتائیک در حجم استفاده بسیار زیاد مورد نیاز می‌باشد که این امر در بسیاری از برنامه‌هایی برای کاهش تولید کربن دی اکسید پیش‌بینی شده است.

در سیستم‌هایی که نیازمند ذخیره انرژی به مدت طولانی هستند، مانند نیروگاه‌های برق آبی با مخازن بزرگ، این نفوذ خورشیدی کاهش می‌یابد. از آنجایی که فرصت‌ها برای تولید انرژی برق آبی جدید یا ذخیره‌سازی از طریق پمپ محدود است، رفع مانع استفاده زیاد از انرژی خورشیدی اهمیت توسعه را بیشتر نشان می‌دهد. فناوری‌های اقتصادی ذخیره‌سازی انرژی چند ساعته هم یک رویکرد عالی برای به کاربردن انرژی فتوولتائیک مقرن به صرفه در مقیاس بزرگ می‌باشند.

## 1.4.12 استقرار و به کارگیری فن آوری حاضر

### انرژی خورشیدی

دلایلی که برای حمایت از اختصاص یارانه برای فناوری خورشیدی فعلی ذکر می‌شود، معمولاً شامل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کوتاه مدت و ایجاد شغل می‌باشد. با این حال بهتر است هدف اصلی، رشد در مقیاس بزرگ و بلندمدت باشد، که تولید برق خورشیدی به عنوان راهی برای دستیابی به کاهش چشمگیر در انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده و همچنین تامین تقاضای رو به رشد جهانی انرژی را برآورده کند. در مرحله دوم هدف اصلی دستیابی به این دو هدف با موثرترین استفاده از بودجه و سرمایه عمومی و منابع خصوصی است. کم هزینه‌ترین راه برای ترویج انرژی خورشیدی از طریق یکی از چندین سیاست مبتنی بر قیمت

است که به خروجی تولید انرژی خورشیدی با توجه به ارزش آن برای سیستم تامین برق پاداش مالی می‌دهد.

یارانه‌های فناوری‌های خورشیدی به ازای هر دلار مالیات‌دهنده هزینه شده، در صورتی که به تولید پاداش بدهد، بسیار مؤثرتر است تا سرمایه‌گذاری. این تغییر برخی ناکارآمدی‌ها و نقص‌ها را تصحیح می‌کند، که بر اساس آن یک کیلووات ساعت برق تولید شده توسط یک سیستم فتوولتائیک مسکونی، یارانه بسیار بیشتری نسبت به کیلووات ساعت برق تولید شده توسط یک نیروگاه برق دیگر در مقیاس شهری در اطراف آن دریافت می‌کند.

## 1.4.13 یک رویکرد پایانی

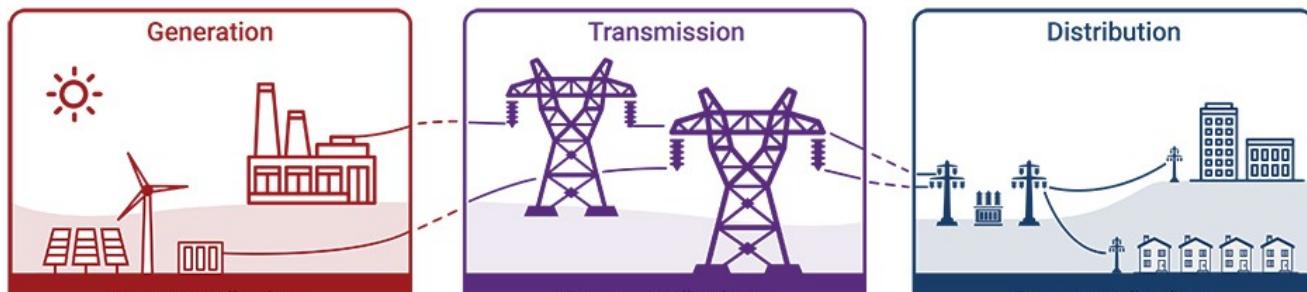
در مواجهه با چالش گرمايش کره زمین، انرژی خورشیدی دارای پتانسیل بسیار زیادی برای رفع نیازهای انرژی بشر در دراز مدت و در عین حال کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از نظر محیط زیست است. انرژی خورشیدی اخیراً به یک منبع قابل اطمینان و در حال رشد سریع برای تولید الکتریسیته در برخی نقاط جهان تبدیل شده است که پیشرفت آن با کمک سیاست‌های فدرال، ایالتی و محلی در ایالات متحده و همچنین با حمایت دولت در اروپا، چین و جاهای دیگر صورت گرفته است. امروزه صنعت خورشیدی در مقایسه با سایر تکنولوژی‌های انرژی، با رشد بسیار بیشتری در حال توسعه و گسترش است و درنتیجه می‌تواند نقش بسیار مهمی در سیستم انرژی جهانی تا اواسط قرن بازی کند. همان طور که اشاره شد آژانس بین‌المللی انرژی پیش‌بینی کرده است سرعت رشد انرژی خورشیدی به اندازه‌ای بالا است که سهم تامین انرژی دنیا از طریق خورشیدی تا سال 2027 از همه منابع دیگر پیشی می‌گیرد و به 22.2 درصد می‌رسد. اگرچه این منبع برای تمامی نقاط دنیا به صورت یکسان، فراوان و مقرر می‌باشد، صرفه در دسترس نیست.

با این وجود که هزینه‌ها در سال‌های اخیر به طور قابل توجهی برای به کار بردن انرژی خورشیدی کاهش یافته است و میزان نفوذ آن به بازار و استفاده از آن رشد کرده است، افزایش استفاده از آن به صورت مقیاس بزرگ در دهه‌های آینده به توانایی صنعت خورشیدی برای غلبه بر چندین مانع بستگی دارد. این موانع می‌توانند شامل هزینه، متناوب بودن، در دسترس بودن فناوری و مواد اولیه، و ادغام موفقیت آمیز سیستم مقیاس بزرگ در سیستم‌های الکتریکی موجود باشند. در حالت کلی، سیاست‌های دولت‌ها نقش مهمی برای غلبه بر این چالش‌ها دارد.

اما تحقیق و توسعه روی تکنولوژی های انرژی خورشیدی نشان داده است که تمامی موانع در حال رفع شدن هستند. هزینه های این سیستم ها همواره در حال کاهش است. تکنولوژی های مناسب برای متناوب بودن انرژی خورشیدی به طور مناسبی توسعه یافته است. برای مشکل متناوب بودن می توان سیستم هایی مانند ژنراتورهای مبتنی بر سوخت های فسیلی و نیروگاه های آبی را با سیستم های انرژی خورشیدی ترکیب کرد تا هر وقت انرژی خورشیدی کاهش یافت این سیستم ها انرژی را جبران کنند. بررسی هایی که تاکنون انجام شده است، نشان می دهد که تهیه مواد اولیه مشکل نیست و توسعه و ادغام در مقیاس بزرگ امکان پذیر است. مخصوصاً اگر یک جریمه برای تولید کردن دی اکسید و تخریب محیط زیست سوخت های فسیلی در نظر گرفته شود، انرژی های تجدیدپذیر کاملاً مقرن به صرفه می شوند و در اولویت قرار می گیرند، در غیر این صورت مقرن به صرفه بودن این انرژی و همچنین سایر انرژی های تجدیدپذیر در برخی کشورها با چالش مواجه است. در بین انرژی های تجدیدپذیر، در حالت کلی انرژی خورشیدی فراوان تر و در دسترس پذیرتر از سایر انرژی ها می باشد. برای مثال در سال های اخیر مشکلات مربوط به محدودیت های ظرفیت احداث سد، تنش های سیاسی و کم آبی بین کشورها برای راه اندازی نیروگاه های برق آبی جهش داشته است.

در حالت کلی رشد سریع انرژی خورشیدی و رسیدن دنیا به انرژی های سبز تا حد زیادی به سیاست گذاران بستگی دارد برای اتخاذ یک تصمیم جدی برای قیمت گذاری جریمه انتشار کردن و کارامد کردن سیاست های درست. خطرات و چالش های ناشی از تغییرات آب و هوایی جهانی و گرمایش، و پتانسیل انرژی خورشیدی برای ایفای نقش عمدی در مدیریت این خطرات و چالش ها، ممکن است منطقی کافی برای اصلاح و حفظ تلاش های اجرا کنندگان قانون و بخش خصوصی، برای حمایت از فناوری انرژی خورشیدی ایجاد نکند.

## 1.5 انتقال، ذخیره و توضیع انرژی



## 1.5.1 مقدمه

از آنجایی که تقاضا برای انرژی همچنان در حال رشد است، کشف راه های کارآمد برای استخراج، انتقال (Transmission)، ذخیره و توضیع<sup>86</sup> انرژی ضروری است. فرایند تامین انرژی شامل استخراج انرژی، ذخیره انرژی، انتقال انرژی و توضیح انرژی می باشد. این موارد نقش های اساسی در تضمین تامین کارآمد و قابل اعتماد انرژی برای پاسخگویی به تقاضای رو به رشد جهانی ایفا می کنند. یک شبکه پیچیده برای تسهیل انتقال یکپارچه انرژی از منابع تولید به مصرف کنندگان، امکان استفاده موثر و استفاده از منابع مختلف انرژی بسیار مهم است.

توزیع انرژی یک جنبه ضروری از چشم انداز انرژی مدرن است که امکان دسترسی و مصرف گسترده انواع مختلف انرژی را فراهم می کند. از شبکه های برق گرفته تا شبکه های گاز طبیعی، سیستم های گرمایش منطقه ای و ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم های توزیع کارآمد تامین انرژی قابل اعتماد و پایدار را تضمین می کنند. با بهبود و نوآوری مداوم این سیستم ها، می توانیم استفاده از انرژی را بهینه کنیم، اثرات زیست محیطی را کاهش دهیم و مزایای انرژی را برای همه انسان ها به ارمغان بیاوریم.

قابل توجه است که انتقال انرژی (Energy transfer) به حرکت انرژی از یک سیستم یا جسم به سیستم یا جسم دیگر اشاره دارد که به صورت گرما و به دلیل اختلاف دما منتقل می شود. این روش ها هدایت، همرفت و تشعشع می باشند که در قسمت های قبلی این فصل درباره آن ها توضیح داده شده است. برای انتقال انرژی از روش هدایت و همرفت به ماده نیاز است ولی برای روش تشعشع نیازی به ماده نیست. برای مثال انرژی خورشیدی از روش تشعشع بدون نیاز به ماده از میلیون ها کیلومتر بدون خلا عبور کرده و وارد کره زمین می شود. اما انتقال انرژی (Energy Transmission) مفهوم دیگری دارد که در این بخش به آن پرداخته شده است[27].

در قسمت های قبل درباره شیوه پیدایش، استخراج و تبدیل انرژی ها به یکدیگر توضیح داده شد. در این بخش به صورت دسته بندی شده به بررسی بیشتر مسائل توضیع انرژی شامل انتقال (Transmission) و ذخیره انرژی می پردازیم.

---

<sup>86</sup> Distribution

## 1.5.2 انتقال انرژی (Energy Transmission)

به حرکت انرژی در فواصل طولانی تر اشاره دارد. برای مثال انتقال نفت خام از طریق خط لوله بین شهرها و کشورها. این حمل و نقل، توزیع انرژی را از نقطه تولید تا نقطه مصرف امکان پذیر می کند. انواع مختلفی از انرژی الکتریکی، حرارتی، مکانیکی و شیمیایی را در بر می گیرد. چه از طریق کابل های برق، خطوط لوله یا سیستم های حمل و نقل، انتقال انرژی تضمین می کند که انرژی به نیروگاه ها، تأسیسات صنعتی، مناطق مسکونی و فراتر از آن منتقل می شود. برای انتقال انرژی روش های مختلفی وجود دارد که هر کدام ویژگی ها، مزایا و کاربردهای خاص خود را دارند [28].

### انتقال انرژی الکتریکی:

الکتریسیته رایج ترین شکل انتقال انرژی در سراسر جهان است. در این روش انرژی از طریق خطوط برق و کابل ها منتقل می شود و برای روشنایی، گرمایش و تغذیه دستگاه های مختلف قابل دسترسی است. شبکه های برق انتقال و توزیع کارآمد برق را در فواصل وسیع امکان پذیر می کنند. به عنوان مثال، خطوط انتقال فشار قوی برق تولید شده در نیروگاه ها را به پست ها منتقل می کند و سپس آن را در مناطق مسکونی و تجاری توزیع می کند.

مزایا: کارآمد در فواصل طولانی، امکان کنترل و تنظیم آسان جریان برق، به راحتی از طریق موتورها به سایر اشکال انرژی مانند انرژی مکانیکی، گرمایی و غیره تبدیل می شود.

معایب: تلفات برق در فواصل بسیار طولانی به دلیل مقاومت رخ می دهد، بدون تعمیر و نگهداری زیرساخت مناسب مستعد خاموشی و وقفه در انتقال انرژی است.

### انتقال خط لوله<sup>87</sup>:

برای نفت، گاز طبیعی و سایر هیدروکربن ها، خطوط لوله به عنوان وسیله های اصلی انتقال عمل می کنند. این روش معمولاً برای حمل و نقل خیلی دور استفاده می شود. این شبکه ها منابع انرژی را از نقاط استخراج به پالایشگاه

<sup>87</sup> Pipeline Transmission

ها یا مراکز توزیع انتقال می دهند. سیستم خط لوله ترانس آلاسکا<sup>88</sup> خط لوله ای است که نفت خام را از دامنه شمالی آلاسکا در ایالات متحده امریکا به مناطق ساحلی والدز، به طول 1287 کیلومتر، منتقل می کند. گاز طبیعی، یک منبع انرژی پرمصرف برای گرمایش، پخت و پز و تولید برق است، همچنین دارای سیستم های توزیع کارآمد است. خطوط لوله گاز طبیعی شبکه گستردگی را تشکیل می دهد که تولیدکنندگان گاز طبیعی را به مراکز توزیع و مصرف کنندگان نهایی متصل می کند. این خطوط لوله گاز را تحت فشار بالا حمل می کند و به آن اجازه می دهد در فواصل طولانی جریان داشته باشد و اغلب از مرزهای بین المللی عبور می کند.

مزایا: کارآمد و مقرون به صرفه برای انتقال مقادیر زیاد مایعات، خطر نشت و تصادف را نسبت به روش های دیگر از طریق کامیون کاهش می دهد. معایب: داشتن محدودیت نسبی به مواد خاص که انتقال آن ها از طریق لوله دشوار است. نصب اولیه و نگهداری پرهزینه و زمان بر است.

#### انتقال انرژی بی سیم<sup>89</sup>:

فناوری های انتقال انرژی بی سیم یا از راه دور به عنوان یک تغییر بالقوه تغییر دهنده دنیا در حال ظهور هستند. هدف آنها انتقال انرژی بدون نیاز به اتصالات فیزیکی، استفاده از میدان های الکترومغناطیسی یا القای تشدید است. کار پیشگامانه نیکولا تسلا در زمینه انتقال برق بی سیم پایه و اساس نوآوری های آینده در این زمینه را ایجاد کرد. برخی از این فناوری ها عبارتند از: امواج رادیویی<sup>90</sup>، شارژ القایی<sup>91</sup>، انتقال توان مایکرووبو<sup>92</sup> و ماهواره های انرژی خورشیدی<sup>93</sup>.

از امواج رادیویی برای انتقال سیگنال برای دستگاه های الکترونیکی مختلف مانند رادیو، تلویزیون و اتصالات اینترنت بی سیم استفاده می شود. فناوری شارژ القایی معمولاً در پدهای<sup>94</sup> شارژ بی سیم گوشی های هوشمند و سایر دستگاه ها استفاده می شود. از میدان های الکترومغناطیسی برای انتقال انرژی بین دو سیم پیچ، یکی در پد شارژ و دیگری در دستگاه استفاده می کند. انتقال توان مایکرووبو شامل استفاده از امواج مایکروویو برای انتقال انرژی از منبع تغذیه به یک دستگاه است. این روش به طور تجربی برای انتقال انرژی در فواصل طولانی مورد استفاده قرار گرفته است و به طور بالقوه می تواند در آینده برای شارژ بی سیم

<sup>88</sup> Trans-Alaska Pipeline System

<sup>89</sup> Wireless Energy Transmission

<sup>90</sup> Radio waves

<sup>91</sup> Inductive charging

<sup>92</sup> Microwave power transmission

<sup>93</sup> Solar power satellites

<sup>94</sup> Pads

وسایل نقلیه الکتریکی به طور فراغت استفاده شود. ماهواره های انرژی خورشیدی، ماهواره هایی که از لحاظ تئوری مجهز به پنل های خورشیدی بزرگ هستند که می توانند از خورشید برق تولید کنند. این انرژی به امواج مایکروویو تبدیل شده و برای استفاده به زمین ارسال می شود، ولی تاکنون این کار عملی نشده است.

### 1.5.3 ذخیره انرژی<sup>95</sup>

همان طور که اشاره شد برخی از منابع انرژی ماهیتی متناوب دارند. ذخیره انرژی برای رفع این مشکل و اطمینان از تامین برق پیوسته بسیار مهم است. در اینجا چند نمونه از فناوری های ذخیره انرژی ذکر شده است [29]:

ذخیره سازی باتری<sup>96</sup>: باتری ها انرژی را به شکل شیمیایی ذخیره می کنند و در صورت نیاز آن را به برق تبدیل می کنند. آن ها در دستگاه های قابل حمل، وسایل نقلیه الکتریکی و سیستم های ذخیره سازی در مقیاس شبکه کاربرد پیدا می کنند. قابل ذکر است که باتری های لیتیوم یونی به دلیل چگالی انرژی و کارایی بالا به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند.

ذخیره سازی آب پمپ شده<sup>97</sup>: یکی از رایج ترین روش های ذخیره پمپ کردن آب به ارتفاعات بالا است وقتی که به انرژی نیاز نداریم. هنگامی که انرژی نیاز شد می توان به عنوان یک انرژی پتانسیل گرانش ذخیره شده آن را تبدیل به الکتریسیته کرد و دوره های پر تقاضای برق مثل ظهرها را تامین کرد. این فناوری ظرفیت ذخیره سازی عظیمی را فراهم می کند و به تثبیت شبکه برق کمک می کند.

ذخیره سازی هیدروژن<sup>98</sup>: هیدروژن را می توان به عنوان حامل انرژی استفاده کرد و در مخازن زیرزمینی ذخیره کرد. می توان آن را از طریق الکتروولیز آب با استفاده از الکتریسیته اضافی تولید کرد و بعداً برای تولید برق از طریق سلول های سوختی یا احتراق استفاده کرد.

ذخیره سازی حرارتی<sup>99</sup>: انرژی حرارتی می تواند ذخیره شود و بعداً به

<sup>95</sup> Energy Storage

<sup>96</sup> Battery Storage

<sup>97</sup> Pumped Hydro Storage

<sup>98</sup> Hydrogen Storage

<sup>99</sup> Thermal Storage

الکتریسیته تبدیل شود یا به عنوان منبع حرارت مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال می‌توان با استفاده از نمک مذاب برای ذخیره گرما از نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی یا استفاده از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره و انتشار گرما برای سیستم‌های گرمایشی اشاره کرد.

ذخیره انرژی مغناطیسی ابررسانا<sup>100</sup>: این سیستم‌ها انرژی را در میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط یک سیم پیچ ابررسانا ذخیره می‌کنند. در صورت نیاز، انرژی ذخیره شده را می‌توان با تبدیل انرژی مغناطیسی به انرژی الکتریکی آزاد کرد.

### یکپارچه سازی انرژی‌های تجدیدپذیر<sup>101</sup>:

با گسترش یافتن منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی، ادغام این منابع انرژی متناوب برای تامین یکنواخت انرژی به شبکه کمک می‌کند. سیستم‌های پیشرفت‌هه توزیع انرژی با ایجاد تعادل بین عرضه متناوب و تقاضا، مدیریت و توزیع کارآمد انرژی تجدیدپذیر را امکان‌پذیر می‌کند. به عنوان مثال، شبکه‌های هوشمند از داده‌های لحظه‌ای و فناوری‌های دیجیتال برای نظارت و مدیریت جریان برق در سراسر شبکه توزیع استفاده می‌کنند و اطمینان حاصل می‌کنند که انرژی تجدیدپذیر اضافی در صورت وجود در شبکه گنجانده می‌شود و شکاف‌های انرژی را پر می‌کند.

جمع بندی:

سیستم‌های انتقال، ذخیره و توضیع انرژی کارآمد اجزای حیاتی یک چارچوب انرژی پایدار هستند. با درک و توسعه این فناوری‌ها، می‌توانیم مصرف انرژی را بهینه کنیم، تلفات را کاهش دهیم و زیرساخت انرژی پاک‌تر و قابل اطمینان‌تری بسازیم. استقبال از این پیشرفت‌ها ما را به سوی آینده‌ای سوق می‌دهد که در آن نیازهای انرژی برآورده شود و سیاره زمین برای نسل‌های آینده حفظ شود.

---

<sup>100</sup> Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

<sup>101</sup> Renewable Energy Integration

# 1.6 مراجع

- [1] Renewables 2020 - Analysis - IEA n.d. <https://www.iea.org/reports/renewables-2020> (accessed June 26, 2023).
- [2] <https://irena.org/renewableenergy> n.d.
- [3] <https://www.undp.org/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy> n.d.
- [4] World Final Energy - World Energy Data n.d. <https://www.worldenergydata.org/world-final-energy/> (accessed June 26, 2023).
- [5] The sun as you've never seen it: European probe snaps closest-ever photo of our star | Space n.d. <https://www.space.com/closest-ever-sun-photo-solar-orbiter> (accessed August 3, 2023).
- [6] Ritchie H, Roser M, Rosado P. Energy statistics data. Our World Data 2022.
- [7] Nasrabadi AM, Malaei O, Moghimi M, Sadeghi S, Hosseinalipour SM. Deep learning optimization of a combined CCHP and greenhouse for CO<sub>2</sub> capturing; case study of Tehran. Energy Convers Manag 2022;267:115946. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115946>.
- [8] Share of cumulative power capacity by technology, 2010-2027 - Charts - Data & Statistics - IEA n.d. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-cumulative-power-capacity-by-technology-2010-2027> (accessed August 27, 2023).
- [9] The Sun's Internal Structure and Atmosphere, Solar Wind - PMF IAS n.d. <https://www.pmfias.com/sun-internal-structure-atmosphere/> (accessed June 29, 2023).
- [10] Overview | Sun - NASA Solar System Exploration n.d. <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/overview/>

(accessed August 12, 2023).

- [11] Jean J, Brown PR, Jaffe RL, Buonassisi T, Bulović V. Pathways for solar photovoltaics. *Energy Environ Sci* 2015;8:1200–19. <https://doi.org/10.1039/C4EE04073B>.
- [12] Panda-shaped solar plant begins operations in N China - CGTN n.d. <https://news.cgtn.com/news/334d6a4e7a557a6333566d54/index.html> (accessed August 10, 2023).
- [13] World's Largest Concentrated Solar Power Plant is in Dubai - HELIOSCSP n.d. <https://helioscsp.com/worlds-largest-concentrated-solar-power-plant/> (accessed August 10, 2023).
- [14] Brier J, lia dwi jayanti. Renewables 2014 Global Status Report. REN21. (2014). [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014\\_GSR2014\\_full%20report\\_low%20res.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014_GSR2014_full%20report_low%20res.pdf) 2020;21:1-9.
- [15] B.Eteiba M, T. El Shenawy E, H. Shazly J, Z. Hafez A. A Photovoltaic (Cell, Module, Array) Simulation and Monitoring Model using MATLAB®/GUI Interface. *Int J Comput Appl* 2013;69:14–28. <https://doi.org/10.5120/11845-7579>.
- [16] NREL, First Solar Collaboration Enhance Thin-Film Solar Cells n.d. <https://www.surenenergy.com/solar-energy-news/nrel-first-solar-collaboration-enhance-thin-film-solar-cells> (accessed August 10, 2023).
- [17] Building-Integrated Photovoltaics - green building to the next level | Reynaers n.d. <https://www.reynaers.com/inspiration/stories/products/building-integrated-photovoltaics-green-building-next-level> (accessed August 10, 2023).
- [18] IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change n.d. <https://www.ipcc.ch/> (accessed March 23, 2023).
- [19] <https://pixels.com/featured/1-parabolic-trough-solar-power-plant-philippe-psaila.html> n.d.
- [20] <Https://5shopai.site/products.aspx?cname=linear+fresnel&cid=118>. No Title n.d.

[21] Dish/Engine System Concentrating Solar-Thermal Power Basics | Department of Energy n.d. <https://www.energy.gov/eere/solar/dishengine-system-concentrating-solar-thermal-power-basics> (accessed August 11, 2023).

[22] Dish type Stirling solar thermal power generation technology n.d. <http://www.micropowers.com/en/Dishstirling.aspx?cid=418> (accessed August 11, 2023).

[23] Homepage - U.S. Energy Information Administration (EIA) n.d. <https://www.eia.gov/> (accessed March 23, 2023).

[24] Jacobson MZ, Delucchi MA. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy* 2011;39:1154-69. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2010.11.040>.

[25] Energy Technology Perspectives 2014 – Analysis - IEA n.d. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2014> (accessed March 23, 2023).

[26] Cook TR, Dogutan DK, Reece SY, Surendranath Y, Teets TS, Nocera DG. Solar energy supply and storage for the legacy and nonlegacy worlds. *Chem Rev* 2010;110:6474-502. [https://doi.org/10.1021/CR100246C/ASSET/CR100246C.FP.PN\\_G\\_V03](https://doi.org/10.1021/CR100246C/ASSET/CR100246C.FP.PN_G_V03).

[27]

<https://www.sparknotes.com/physics/workandenergy/workanddefect/section4/> n.d.

[28] <https://www.conserve-energy-future.com/energy-transformation.php> n.d.

[29] <https://www.energy.gov/eere/ebesm/articles/energy-storage> n.d.